

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra robotiky

**Robotizované pracoviště pro svařování pěchovacího běhounu**  
**Robotized Production Cell for Padfoot Drum Welding**

Student:

Bc. Jakub Kovář

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Václav Krys, Ph.D

Ostrava 2017

# Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Jakub Kovář**  
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství  
Studijní obor: 2301T013 Robotika  
Téma: **Robotizované pracoviště pro svařování pěchovacího běhounu**  
**Robotized Production Cell for Padfoot Drum Welding**

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Analyzujte výrobní proces pěchovacího běhounu a základní požadavky zadavatele na jeho robotizaci. Proveďte rešerši dostupných technických prostředků pro robotizaci svařování běhounu a obdobných realizovaných pracovišť.
2. Sestavte detailní požadavkový list pro robotizované pracoviště a jeho jednotlivé periferie.
3. Navrhněte koncepty robotizovaného pracoviště splňující specifikované požadavky a rozpracujte je do úrovně potřebné pro jejich vzájemné objektivní posouzení.
4. Výsledný koncept pracoviště rozpracujte do úrovně podrobného 3D modelu a výkresové dokumentace dle pokynů vedoucího práce.
5. Práci též doložte v elektronické podobě ve formátu MS WORD a řešení pracoviště v CAD systému dle pokynů vedoucího práce.

Seznam doporučené odborné literatury:

ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. Praha: Český normalizační institut, srpen 2007. 48 s.

ČSN ISO 690 *Informace a dokumentace - Pravidla pro bibliografické odkazy a citace informačních zdrojů*. Praha: Český normalizační institut, 2010.

BURKOVÍČ, J. *Projektování a provoz RTP*. 1. vydání. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 2004. 118 s. ISBN 80-248-0709-2.

PALCO, A., SMRČEK, J. *Robotika, Koncové efektory pre priemyslné a servisné roboty, Navrhovanie – Konštrukcia - Riešenia*. 1. vydání. Košice: TU v Košiciach, 2004. 274 s. ISBN 80-8073-218-3.

BĚLOHOUBEK, P. - KOLÍBAL, Z. *Průmyslové roboty IV. Projektování výrobních systémů s PRaM*. Skriptum VUT-FSI, Brno, 1993.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Václav Krys, Ph.D.**

Konzultant diplomové práce: Ing. Richard Mareš

Datum zadání: 09.12.2016

Datum odevzdání: 15.05.2017

---

prof. Dr. Ing. Petr Novák  
vedoucí katedry



---

doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

**Místopřísežné prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě: .....

.....

podpis studenta

### **Prohlašuji, že**

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- беру на ве́доміі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé diplomové práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́доміі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: .....

.....

Jakub Kovář

Na Kúty 449

747 69, Pustá Polom

### **Poděkování**

Rád bych poděkoval vedoucímu mé diplomové práce Ing. Václavu Krysovi Ph.D. a Ing. Richardu Marešovi z firmy Valk Welding za jejich čas, cenné rady a připomínky.

## ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

KOVÁŘ, Jakub. *Robotizované pracoviště pro svařování pýchovacího běhounu*. Ostrava, 2017, 80 s. Diplomová práce. VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra robotiky. Vedoucí práce: Václav Krys.

Tato práce se zabývá návrhem automatizovaného pracoviště pro svařování pýchovacích neboli ježkových válců. V první části práce je vytvořena rešerše na téma robotizované svařování. Následně je provedena analýza zadání na základě které, je sestaven požadavkový list a navrženy varianty. V další části práce je vybraná varianta dále rozpracována. Jsou zde popsány návrhy jednotlivých periférií a konstrukčních prvků. Časová analýza je vytvořena pomocí off-line programovacího prostředí DTPS. V závěru práce je pak zpracována cenová kalkulace a následně jsou zhodnoceny dosažené výsledky. CAD modely a příložená výkresová dokumentace byla zpracována v systému Solidworks. K návrhovým a kontrolním výpočtům byly využity programy MitCalc, Solidworks Simulate a ANSYS.

## ANNOTATION OF DIPLOMA THESIS

KOVÁŘ, Jakub. *Robotized Production Cell for Padfoot Drum Welding*. Ostrava, 2017, 80 p. Diploma thesis. VŠB – Technical university of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Robotics. Thesis head: Václav Krys.

This thesis deals with design of robotic production cell for pad-foot drum welding. The introduction of thesis consists of the preliminary research of robotized production cells and the assignment analysis. After the analysis, variants are proposed. One of the variants is evaluated as optimal. For this variant, peripherals are designed. Cycle time analysis is created using an off-line programming environment DTPS. In conclusion of this work, economical calculations are made and achievements are assessed. CAD models as well as provided drawings was created using Solidworks. Software such as MitCalc, Solidworks Simulate and ANSYS were used for design calculations.

## Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod.....</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>Rešerše.....</b>	<b>10</b>
2.1	Svařovací roboty .....	10
2.2	Manipulační roboty .....	12
2.3	Koncové efekторы.....	13
2.3.1	Typy manipulačních efektorů .....	13
2.3.2	Automatická výměna .....	15
2.4	Periferie svařovacích pracovišť .....	16
2.4.1	Svařovací hořáky.....	16
2.4.2	Svařovací zdroje.....	16
2.4.3	Podavače drátů .....	17
2.4.4	Čistící stanice .....	18
2.4.5	Senzory pro detekci svařovaných dílů .....	19
2.4.6	Polohovadla.....	20
<b>3</b>	<b>Analýza zadání .....</b>	<b>22</b>
3.1	Svařenec.....	22
3.2	Technologie svařování .....	24
<b>4</b>	<b>Požadavkový list.....</b>	<b>25</b>
<b>5</b>	<b>Návrh pracoviště .....</b>	<b>27</b>
5.1	Polohovadlo .....	27
5.1.1	Jednoosé polohovadlo .....	27
5.1.2	Jednoosé oboustranné polohovadlo.....	28
5.2	Vstup zubů a žeber.....	29
5.2.1	Zásobníky s výsuvnými dveřmi .....	29
5.2.2	Skluz se zásobníkem .....	31
5.2.3	Stůl v pracovním prostoru.....	32
5.3	Vstup do nakládacího/pracovního prostoru .....	33
5.3.1	Manuální posuvné dveře .....	33



5.3.2	Rolovací dveře .....	33
5.3.3	Optická zábrana.....	34
<b>6</b>	<b>Konfigurace variant .....</b>	<b>35</b>
<b>7</b>	<b>Srovnání variant.....</b>	<b>36</b>
7.1	Varianta A.....	36
7.1.1	Návrh kombinovaného efektoru.....	36
7.1.2	Zpracování zvolené varianty .....	46
7.1.3	Simulace varianty A .....	52
7.2	Varianta B .....	53
7.2.1	Simulace Varianty B .....	53
7.3	Varianta C .....	54
7.3.1	Simulace varianty C .....	55
7.4	Nacnění variant .....	55
7.5	Porovnání variant.....	57
<b>8</b>	<b>Zpracování zvolené varianty .....</b>	<b>59</b>
8.1	Popis jednotlivých uzlů pracoviště .....	60
8.2	Simulace.....	70
8.3	Bezpečnost.....	71
8.4	Zdroje energií.....	73
8.5	Finanční zhodnocení .....	73
<b>9</b>	<b>Závěr.....</b>	<b>76</b>
<b>10</b>	<b>Použité zdroje .....</b>	<b>77</b>
<b>11</b>	<b>Seznam příloh .....</b>	<b>79</b>

## Seznam použitého značení a zkratk

AC	Alternating Current – střídavý proud	[I]
CAD	Computer Aided Design – počítačem podporované projektování	
DPH	Daň z přidané hodnoty	[Kč]
EPDM	Syntetický terpolymer	
$F_A$	Síla v podpoře A	[N]
$F_{A1}$	Síla v podpoře A přepočtena na jeden šroub	[N]
$F_c$	Celková síla	[N]
$F_n$	Normálová síla	[N]
$F_t$	Třecí síla	[N]
$F_{ty}$	Ypsilonová složka třecí síly	[N]
$F_u$	Úchopná síla	[N]
$F_{uch}$	Úchopná síla efektoru dle katalogového listu	[N]
$F_{us}$	Úchopná síla s bezpečnostním koeficientem	[N]
$F_z$	Síla zatěžující rám efektoru	[N]
IP	Stupeň krytí dle normy ČSN EN 60529	
MAG	Metal Active Gas – metoda obloukového svařování	
MIG	Metal Inert Gas – metoda obloukového svařování	
MKP	Metoda Konečných Prvků	
OM	Objekt manipulace	
UV	Ultra Violet – ultrafialové záření	
$a$	Zrychlení	[m.s <sup>-1</sup> ]
$f$	Koeficient tření	[-]
$k$	Bezpečnostní koeficient	[-]
$\alpha$	Úhel sklonu stěny zubu	[°]

# 1 Úvod

Automatizované svařování je velmi perspektivním odvětvím robotiky. Investice do takového zařízení přináší majitelům továren vyšší kvalitu výroby, spolehlivost, a především efektivitu nákladů. Přestože se v současné době většina aplikací robotického svařování vyskytuje v automobilovém průmyslu, stále roste poptávka po této technologii i mimo něj.

Firma Valk Welding, se sídlem v Nizozemí, se zabývá výrobou svařovacích pracovišť na míru. Jedna ze zakázek této firmy je právě předmětem této diplomové práce. Konkrétně jde tedy o návrh pracoviště pro svařování běhounu pěchovacího válce, kterým chce zadavatel nahradit stávající ruční výrobu a tím dosáhnout především zvýšené a konzistentní kvality výrobků a také úspory nákladů za výrobu.

Před tvorbou samotného návrhu je důležité obeznámit se s danou problematikou. Za tímto účelem byla vytvořena rešerše týkající se svařovacích pracovišť a jejich periferií. Dále je nutné důkladně analyzovat samotné zadání. V rámci analýzy zadání je řešen jednak samotný svařenec, dále jsou upřesněny zákaznickovy požadavky na technologii a v neposlední řadě jsou zde zmapovány situační omezení týkající se zástavby. Výstupem této analýzy je sestavení požadavkového listu, na základě kterého, je navrženo několik koncepcí pracoviště a z nich jsou vybrány tři varianty pro další analýzu. V případě jedné z variant bylo zapotřebí také navrhnout efektor, který vykonává jak svařování, tak manipulaci. V rámci návrhu tohoto efektoru, je taktéž sestaven požadavkový list a navrženy varianty. Zmíněné návrhy jsou vytvořeny v CAD systému Solidworks a svařovací cykly jsou simulovány v off-line programovacím nástroji společnosti Panasonic DTPS.

V další části práce je hlouběji rozpracována zvolená varianta a jsou zde definovány a popsány jednotlivé periferie. V rámci návrhu je také řešena bezpečnost dle norem týkajících se této problematiky. Dosahy robotu jsou ověřeny pomocí programu DTPS. Výstupem práce je návrh možné podoby pracoviště a jeho ekonomické zhodnocení.

## 2 Rešerše

Rešerše je zaměřena na specifika svařovacích a manipulačních robotů a jejich řídicích systému, dále na koncové efekty pro manipulaci a svařování a také na periferie svařovacích pracovišť.

### 2.1 Svařovací roboty

Robotické svařování je dnes velmi rozšířené a počet aplikací se stále zvyšuje, tudíž se na specializované roboty pro tento účel zaměřuje stále více výrobců. Cílem této rešerše není vytvořit kompletní výčet svařovacích robotů, a tak vzhledem k tomu, že je tato práce řešena ve spolupráci s firmou Valk Welding, se v rešerši zaměřím na roboty Panasonic, nicméně budou uvedeny i některé konkurenční výrobky.

Konstrukce svařovacích robotů jednotlivých výrobců nemá na technologii samotnou až takový dopad. Hlavní rozdíly vyvstanou až poté, co se zaměříme na řídicí systémy. Oproti řídicím systémům, například manipulačních robotů, je zde kladen velký důraz na trajektorii koncového bodu. Jde jednak o přesnost dráhy a také o možnost speciálních pohybů souhrnně označovaných jako „weaving“ spadá sem například zig-zag, triangular, spiral nebo wrist weaving.

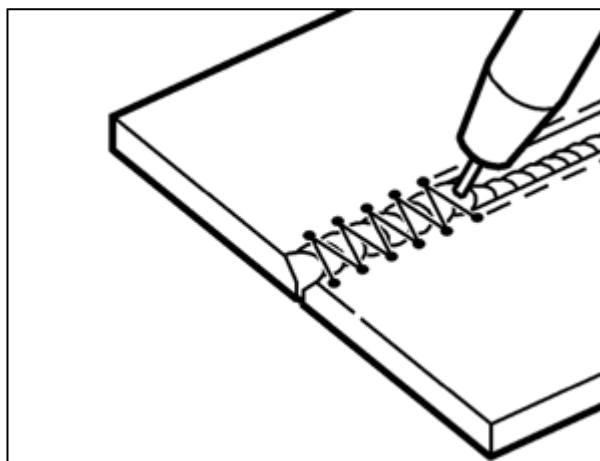


*Obr. 2.1 Weaving svařování 1*



*Obr. 2.2 Weaving svařování 2*

Pomocí těchto metod se dosahuje vyšší penetrace v kořeni svaru při snížení energie v tavné lázni, což má za následek jednotnější svar.



*Obr. 2.3 Schéma svaru*

Kromě technologických vlastností řídicích systému je také důležitá uživatelská přívětivost a intuitivnost programování a kalibrování, a to nejen na pracovišti ale také v dnes již standardním off-line programovacím prostředí.



*Obr. 2.4 Robotické svařovací řešení TAWERS*

Off-line programovací prostředí umožňuje vytvořit program robotu mimo pracoviště. Tyto softwary umožňují spouštět simulace a analyzovat tak pohyb robotu, ověřovat dosahy a detekovat kolize, a také zaznamenat čas cyklu. Díky off-line programování není třeba přerušit výrobu stávajícího pracoviště, když je v plánu změna produktu. Konečná kalibrace a vyladění programu však již vždy probíhá na reálném robotu. Každá společnost zabývající se výrobou robotů pro svařování má vlastní prostředí pro off-line programování. V případě Panasonicu je to DTSPS, dalším příkladem jsou RobotStudio od ABB nebo Kuka sim od firmy Kuka. Existují také nezávislá řešení off-line programování, například Robotmaster.

Následující tabulka obsahuje přehled a srovnání svařovacích robotů dle základních specifikací. Jsou zde uvedeny roboty výrobců Panasonic, ABB a Fanuc.

*Tabulka 1 Přehled svařovacích robotů*

Robot	Výrobce	Nosnost [kg]	Dosah [mm]	Opakovatelná přesnost [mm]	Hmotnost [kg]
TM 1100	Panasonic	6	1163	0,08	156
TM 1400	Panasonic	6	1437	0,08	170
TM 1600	Panasonic	4	1639	0,08	180
TM 1800	Panasonic	6	1809	0,08	215
TM 2000	Panasonic	6	2011	0,1	217
TL 1800	Panasonic	8	1801	0,15	215
TL 2000	Panasonic	6	1999	0,15	216
IRB 1600	ABB	6	1550	0,05	250
IRB 2400	ABB	12	1550	0,05	380
IRB 2600	ABB	8	1650	0,05	272
ARC Mate 100iC/7L	Fanuc	7	1633	0,08	135
ARC Mate 120iC/12L	Fanuc	12	2009	0,08	250

Vzhledem k možnosti použití kombinovaného efektoru, která bude popsána v pozdější části práce, byl vytvořen přehled robotů o vysoké nosnosti. Jedná se buďto o speciální svařovací roboty s vyšší nosností, anebo univerzální roboty použitelné i pro svařování.

*Tabulka 2 Přehled svařovacích robotů vyšších nosností*

Robot	Výrobce	Nosnost [kg]	Dosah [mm]	Opakovatelná přesnost [mm]	Hmotnost [kg]
IRB 4600	ABB	60	2050	0,05	412
IRB 4400	ABB	60	1960	0,19	1040
YS-080G3	Panasonic	80	2240	0,15	620
M-710iC/45M	Fanuc	45	2606	0,1	570
M-710iC/50M	Fanuc	50	2050	0,07	560
M-710iC/70M	Fanuc	70	2050	0,07	560

## 2.2 Manipulační roboty

Manipulační roboty jsou oproti svařovacím levnější. Je to dáno nižšími nároky na trajektorii pohybu a řídicí systém. Hlavními parametry, které se zohledňují při výběru, jsou vedle ceny dosah, nosnost a opakovaná přesnost. Zde Panasonic zaostává za konkurencí, což je dáno specializací firmy na svařování. V nabídce má dva manipulační roboty s nosností 80 kg a 220 kg. Širší nabídku manipulačních robotů na českém trhu poskytují firmy ABB, Fanuc, Kuka, Motoman, Comau anebo Stäubli.

## 2.3 Koncové efektory

### 2.3.1 Typy manipulačních efektorů

Pro řešenou aplikaci je k manipulaci možné použít buď mechanický, nebo magnetický efektor. Přísavkový efektor je v tomto případě nepoužitelný vzhledem k poměru hmotnosti a rovných ploch objektu manipulace.

#### Magnetické efektory

Magnetické efektory mohou využívat permanentní magnety nebo elektromagnety. V případě permanentních magnetů tyto efektory obsahují ještě vyhazovací mechanismus.

Výhody:

- Jedna plocha objektu manipulace je pro úchop dostačující,
- uchopování probíhá velmi rychle,
- jde o flexibilní design, tedy efektor se nemusí přizpůsobovat při změně objektu manipulace,
- vyžadují jen minimální údržbu.

Nevýhody:

- Manipulovaný díl může proklouznout při rychlém pohybu robotu,
- nečistoty mezi plochami velmi ovlivňují uchopovací sílu,
- špony a ocelový prach můžou na efektoru ulpívat,
- manipulované části mohou zůstat zmagnetizované.



*Obr. 2.5 Magnetický efektor*

## Mechanické efekторы

Mechanická chapadla jsou standardem na poli manipulačních efektorů. Nejčastěji jsou řízena pneumaticky, avšak trendem poslední doby se stávají chapadla s elektrickými pohony. Ta jsou výhodnější z pohledu řízení a také jsou úspornější. Jejich masivnějšímu rozšíření však brání vyšší pořizovací náklady.

Kromě typu pohonu se tyto efekторы dále dají dělit dle pohybu prstů, tedy na paralelní, angulární či centrické. Nabídka výrobců jako Schunk, Festo nebo Robotiq je opravdu široká. K dostání je mnoho variant o různé nosnosti, rozsahu úchopu či stupni krytí. Zařízení se dají vybavit také různými senzory pro detekci pozice prstu, či měření sil.

Výhody:

- Univerzálnost,
- rozsáhlá nabídka produktů,
- při správném návrhu nehrozí prokluz OM.

Nevýhody:

- Oproti magnetickým efektorům vyšší nároky na údržbu,
- vyšší pořizovací cena,
- náchylnost na nečistoty (u variant s vyšším stupněm krytí rostou pořizovací náklady).



*Obr. 2.6 Paralelní mechanický efektor Schunk*



### 2.3.2 Automatická výměna

Toto řešení se používá tam, kde je nutné často vyměňovat nástroj robotu. K tomuto úkonu pak není zapotřebí obsluhy, robot provede výměnu automaticky v řádech sekund. Systém automatické výměny se skládá ze dvou propojovacích částí, z nichž jedna je upevněna na přírubu robotu a druhá je pevně spojena s efektozem. Po zasunutí těchto částí do sebe se systém uzamkne pomocí ocelových kuliček nebo vaček. Tento mechanismus je většinou poháněn pneumaticky. Po spojení obou částí musí být zajištěno také propojení datových a silových kabelů, popřípadě pneumatických hadic, které jsou vyžadovány samotným efektozem. Životnost tohoto systému se obvykle uvádí v počtu cyklů. V případě mechanismů s vačkovým zámkem od firmy AppliedRobotics je udávaná životnost až 5 milionů cyklů. Dalšími společnostmi, které se zabývají výrobou těchto systémů jsou například Schunk nebo ATI automation.



*Obr. 2.7 Systém automatické výměny*

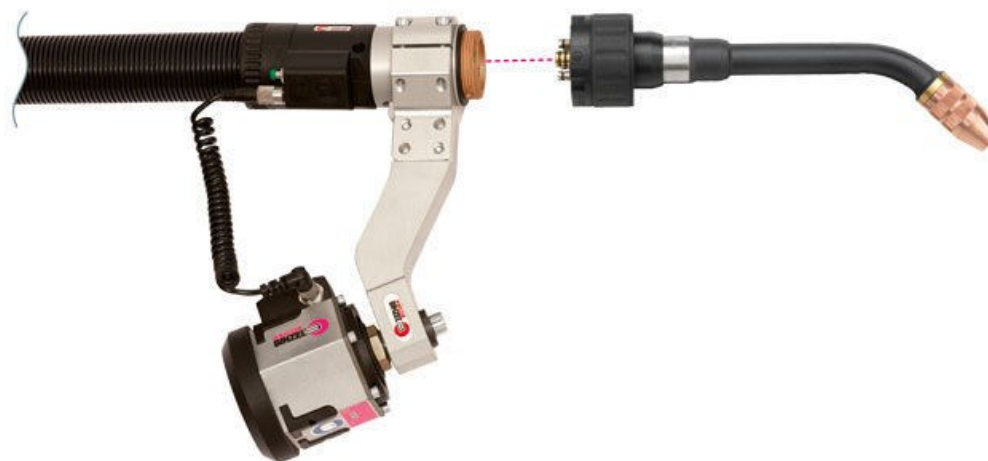
## 2.4 Periferie svařovacích pracovišť

Srdcem robotického svařovacího pracoviště je sice robot, ten ale k provozování této technologie potřebuje mnoho periférií. Následující kapitola obsahuje jejich výčet a stručný popis.

### 2.4.1 Svařovací hořáky

V robotice se používá mnoho technologií svařování. Mimo obloukové, tedy MIG/MAG a TIG, se hojně využívá, především v automobilním průmyslu, také bodové svařování. Dále plasmové, ultrazvukové či třecí svařování. V poslední řadě také laserové a laser hybrid svařování, které jsou dnes na vzestupu. Oblastí našeho zájmu je MIG, tedy Metal Inert Gas, jež se používá pro svařování nelegovaných a nízkolegovaných ocelí.

Hořáky slouží k přívodu přídavného materiálu a ochranného plynu. V případě nižších svařovacích výkonů jsou chlazeny samotným ochranným plynem. Při vyšších výkonech už jsou vybaveny obvodem pro cirkulaci chladicí kapaliny. Na konci hořáku je našroubována kontaktní trubka, která přivádí proud na drát. Tato trubka velmi trpí na opotřebení, a proto je považována za spotřební část hořáku.



*Obr. 2.8 Svařovací hořák MIG*

### 2.4.2 Svařovací zdroje

Svařovací zdroje generují proud potřebný pro svařování. Hlavními parametry jsou výstupní proud, pracovní cyklus (duty cycle), tedy poměr času svařování při plné zátěži a chladnutí, a další. Důležitým kritériem při výběru jsou speciální funkce, které zdroj zvládá, jako třeba weaving, což je funkce cyklického pohybu při svařování, a samozřejmě schopnost svařování požadovanou technologií viz Obr. 2.9.

Stromquellen / Power Sources						
Spezifikationen / Specifications						
Modell / Model	YC-300 BZ3	YC-300 BP2	YD-350 GZ4	YD-350 GB2	YD-350 GE2	YD-500 AF2
Eingangsspannung / Input voltage(V AC/Hz)	400/50 (60)	200/50 (60)	400/50 (60)	400/50 (60)	400/50	400/50 (60)
Eingangsleistung / Input (kVA)	10,5	11	17,7	18	20	28
Ausgangsstrom / Output current (A)	4-300	AC/DC 300	30-350	30-350	30-350	40-500
Ausgangsspannung/Output voltage (V)	DC22(WIG/TIG)	DC22 / AC 22	12-36	12-31,5	12-31,5	16-39
Einschaltdauer / Duty Cycle	40 %	40 %	60 %	60 %	60 %	500A / 100 %
Schweißverfahren / CO2	-	-	•	•	•	•
Welding methode MIG	-	-	•	•	•	•
PulsMIG / PulseMIG	-	-	-	-	•	•
MAG	-	-	•	•	•	•
PulsMAG /PulseMAG	-	-	-	-	•	•
WIG /TIG DC	•	•	-	-	-	-
AC-,DC-,Mix-WIG/-TIG	-	•	-	-	-	-
WIG Puls / TIG Puls	•	•	-	-	-	-
HF Ignition	•	•	-	-	-	-
Abmessungen / Measurements (mm)	380x510x410	380x510x656	380x550x640	380x510x494	380x510x570	440x585x945
Gewicht / Weight (ca. / approx. kg)	36	59	61	48	66	122

Obr. 2.9 Svařovací zdroje TAWERS

Na zdroje pro potřeby robotického svařování se zaměřují kromě firmy Panasonic například také Lincoln, Fronius, či třeba ESAB.

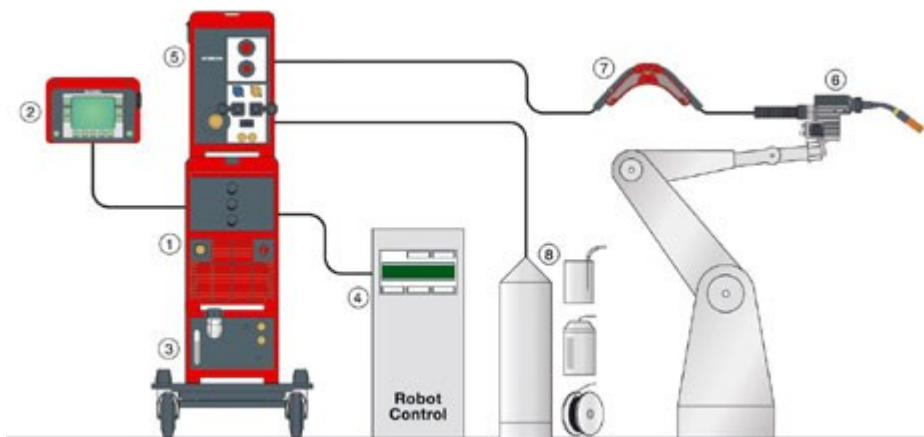


Obr. 2.10 Svařovací zdroj Fronius

### 2.4.3 Podavače drátů

Jde o jednu z nejdůležitějších periférií. Podavač musí zabezpečit konzistentní posouvání drátu bez prokluzů. Kvalitnější podavače umožňují automatickou změnu podávací rychlosti v závislosti na délce oblouku a napětí. Další funkcí, kterou disponuje většina podavačů je takzvaný „burn-back“. Jde o integrovaný obvod, který umožňuje svářecímu proudu téct i chvíli po ukončení podávání drátu. Tímto se dosáhne zkrácení drátu na přesnou délku pro další

svařování. Z dispozičního hlediska se využívají dvě řešení, a to oddělený podavač drátu, který je většinou umístěn u svařovacího zdroje, a pak dnes již převažující řešení integrovaného podavače, jenž je umístěn přímo na robotu. K rozmachu tohoto řešení došlo s přibývajícím počtem svařovacích robotů s dutými rameny.



*Obr. 2.11 Schéma robotického svařovacího systému*

#### 2.4.4 Čistící stanice

Aby mohl ochranný plyn proudit do místa svaru, musí být hlavice hořáku čistá, proto je nezbytné periodické čištění. Čistící stanice mechanicky odstraní nečistoty a ošetří hořák čisticí kapalinou, která zabraňuje usazování rozstříků při svařování. Stanice disponují také zastřihovačem drátu, který je užitečný, pokud je svařovací drát používán jako taktilní senzor.

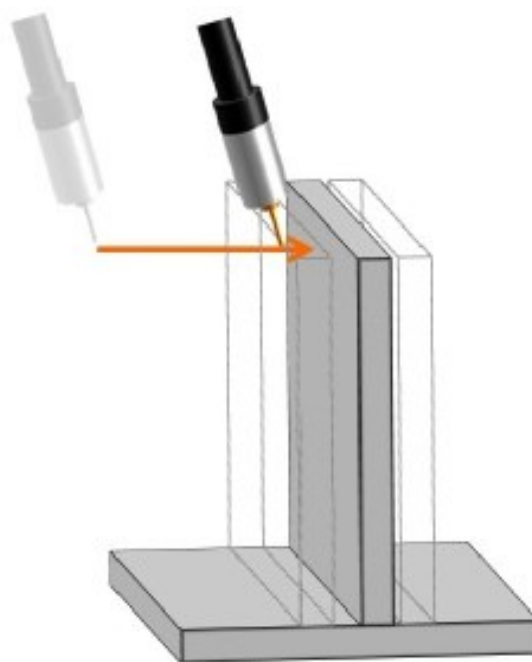


*Obr. 2.12 Čistící stanice Binzel*

#### 2.4.5 Senzory pro detekci svařovaných dílů

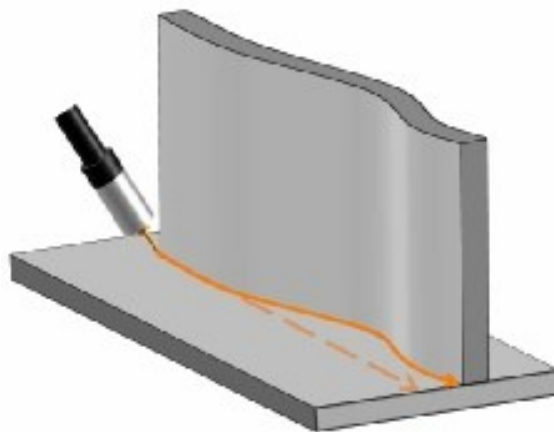
Při ustavení svařovaných dílů může dojít k nepřesnostem, které vyžadují kalibraci dráhy robotu. K chybám také může dojít při svařování tlustých plechů, které se vlivem teploty ohýbají. Nepřesnosti lze v tomto případě rozdělit na tři druhy – špatná pozice svařence, nepřesná trajektorie svaru a odchylka svařovací mezery.

Pozici svařence lze jednoduše detekovat taktilním senzorem. Robot v tomto případě pomalu najíždí ke svařenci, dokud se jej nedotkne svařovacím drátem. Tím zjistí skutečnou polohu svařence v jednom bodě, poté operaci opakuje na druhém konci budoucího svaru. K detekci dochází díky změně napětí v drátu. Detekce v každém směru trvá okolo 1,5 sekundy, což není mnoho, pokud vytváříme dlouhé svary. V případě více krátkých svarů, za podmínky, že polohy jednotlivých svarů na sobě nejsou závislé, je tato metoda z časového hlediska neefektivní.



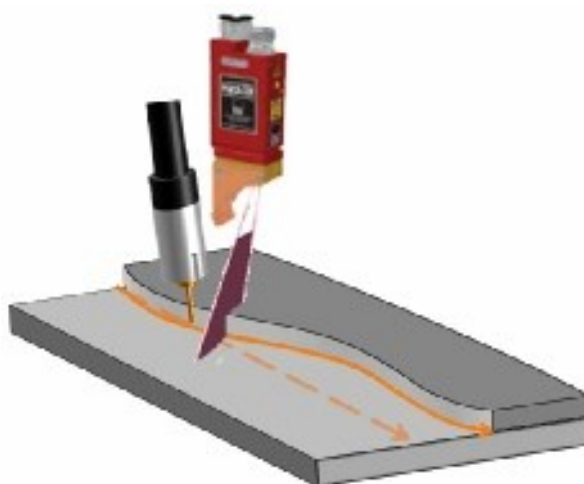
*Obr. 2.13 Detekce dotykem drátu*

Větší problém nastává, když se svařované plechy začnou vlivem tepelných deformací ohýbat. Zde již nepomůže zjištění pozice v několika bodech. Jednou z metod detekce deviace je snímání oblouku. Pokud senzor zaznamená natahování či zkracování oblouku, upraví dráhu posunutím v příslušném směru.



*Obr. 2.14 Snímání oblouku*

Další možností je použití laserového skeneru, který detekuje jak posunutí svařence, tak deviaci dráhy a také změnu průřezu mezery mezi svary. K tomu využívá triangulační metody. Tato zařízení se montují k poslední ose robotu, což je jejich nevýhodou, protože v úzkých prostorech může dojít k omezení pohybu robotu. Další nevýhodou je poměrně vysoká cena.



*Obr. 2.15 Laserové snímání místa svaru*

#### **2.4.6 Polohovadla**

Polohovadla slouží jako externí osy robotů. Dovolují vytvářet svary na místech, kde by bylo zapotřebí přestavět přípravek. Umožňují také vyhnout se svařování „nad hlavou“ které není při robotickém svařování žádoucí z toho důvodu, že by stékající přídavný materiál mohl ucpat hlavici a znemožnit tak podávání drátu. Polohovadla jsou jednoosá i víceosá.





*Obr. 2.16 Polohovadla Panasonic*

Mohou být jednoduchá tak jako polohovadla Panasonic na obrázku výše anebo dvojité. Dvojitá polohovadla zároveň oddělují pracovní prostor od nakládacího a dovolují tak současné svařování a osazování přípravku.

Pohon zajišťují servo jednotky, které jsou ovládány řídicím systémem robotu a programovány přes teach pendant. Při svařování je možný současný pohyb robotu a polohovadla.



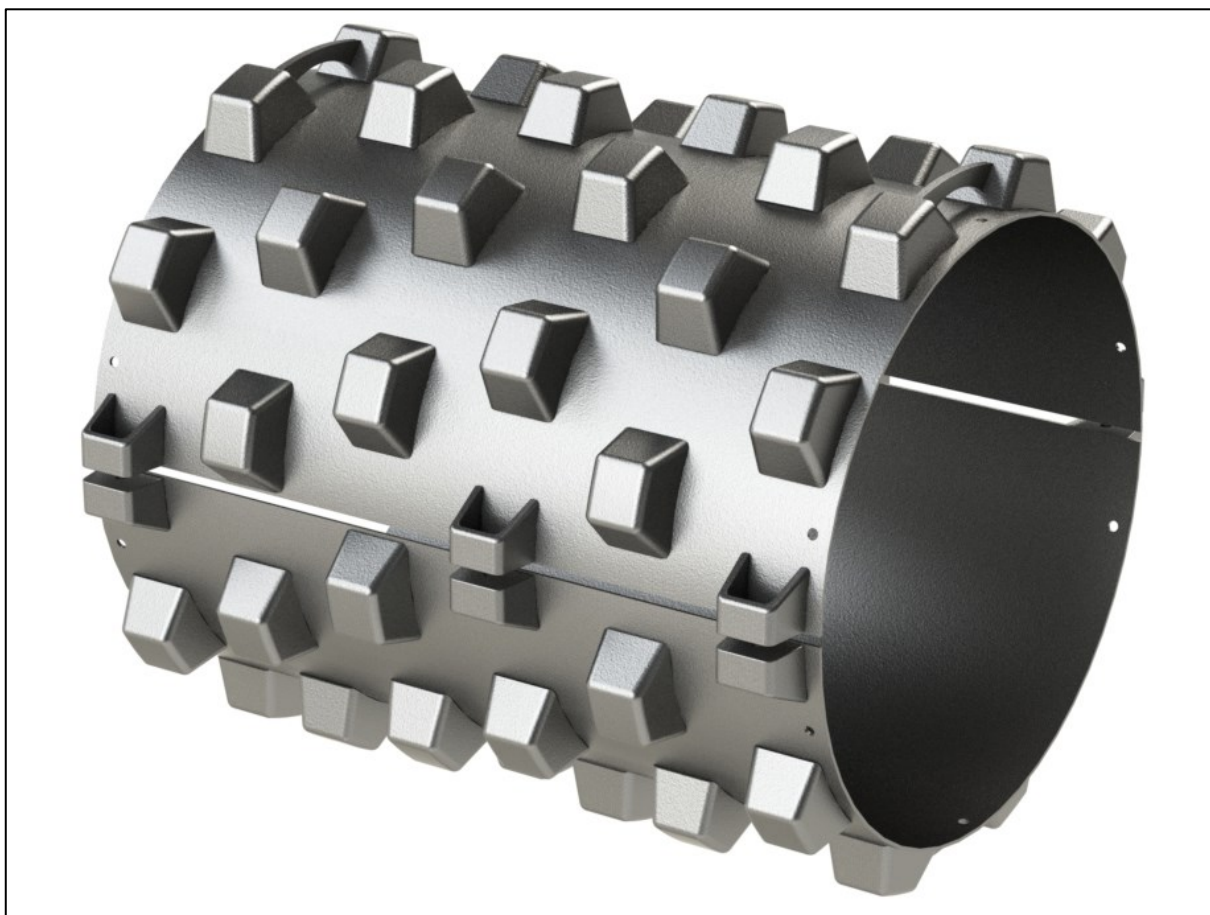
*Obr. 2.17 Polohovadlo ABB IRBP-K*

Polohovadla dodávají různí výrobci jako sety – ABB, Motomann, Panasonic a další. Na trhu jsou i samostatné rotační jednotky, které lze zakomponovat do vlastního řešení polohovadla.

## 3 Analýza zadání

### 3.1 Svařenec

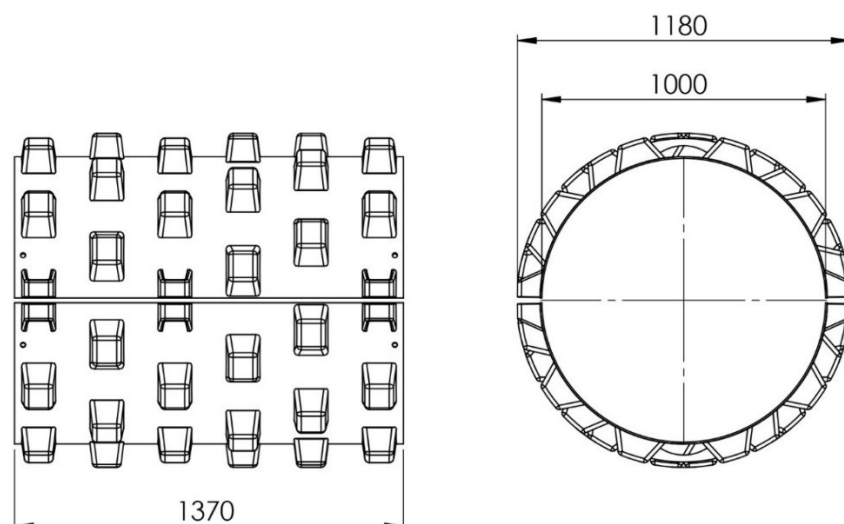
Svařencem je pýchovací (ježkový) běhoun silničního válce. Výrobek se skládá ze dvou sešroubovaných plechů s navařenými zuby. Zuby jsou dvojího typu, a to plné a poloviční. Druhé zmiňované slouží k sešroubování obou polovin svařence. Posledním dílem jsou žebra tvořící úchytné body.



*Obr. 3.1 Pýchovací běhoun*

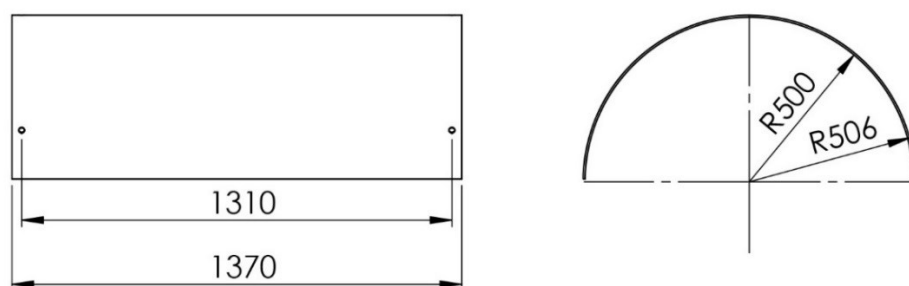
Ohýbané plechy válce mají po krajích vyvrtány díry Ø18 mm, které se dají využít pro upínání do přípravku. Celková hmotnost výrobku je 454 kg. Vzhledem k hmotnosti svařence je nutné k manipulaci využít jeřáb. Při svařování tohoto výrobku je nutné nejdříve navařit půlené spojovací zuby a oba plechy sešroubovat, aby nemohlo dojít k deformaci skruženého plechu.





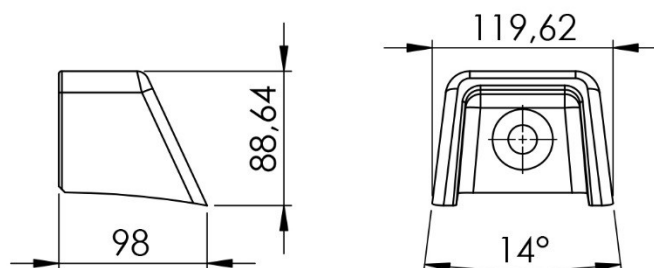
*Obr. 3.2 Sestava pýchovacího běhounu*

Plášť jsou skružovány z plechu o síle 6 mm. Dle předepsaných tolerancí je poloměr zaoblení min R500, což zajišťuje bezproblémovou montáž na přípravek.



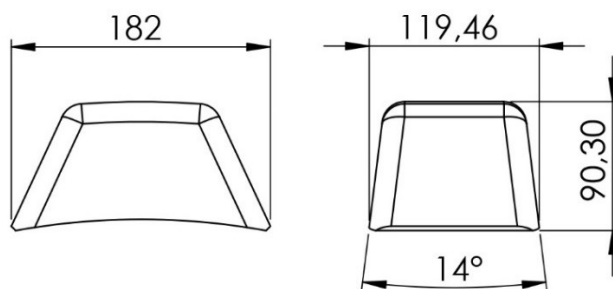
*Obr. 3.3 Plášť běhounu*

Půlený zub je frézovaný odlitek. Obrobena je pouze vnitřní plocha a výřez pro montáž šroubového spoje.



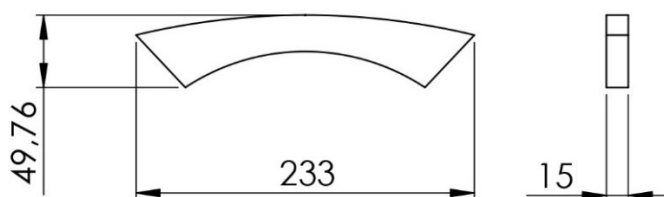
*Obr. 3.4 Spojovací, půlený zub*

Zuby jsou odlévány s tolerancemi dle ČSN EN ISO 8062.



Obr. 3.5 Zub

Žebra jsou výpalky z plechu o síle 15 mm.



Obr. 3.6 Žebro

### 3.2 Technologie svařování

Dle požadavků zákazníka je velikost svarů 6 mm, přičemž svar je vyhotoven na jedno přejetí. Rychlost svařování je 0,25 m/min. Pracoviště je nutné vybavit zdrojem stlačeného vzduchu pro odfuk kuliček a nečistot v místě svaru. Následující tabulka zobrazuje časovou náročnost operace.

Tabulka 3 Předběžný výpočet svařovacího času

Svar		Ks	Celková délka [mm]
Délka [mm]	Velikost [mm]		
150	6	108	16200
120	6	24	2880
117	4	12	1404
50	6	16	800
Suma:			21284
čas [s]:			5321
Zapálení a zhašení [s]:			152
celkový čas [min]:			91,22

Tabulka zahrnuje pouze čistý svařovací čas a nepočítá s dobou přejezdů a manipulace s díly, která je závislá na rozvržení pracoviště a počtu robotů. Proto bude celkový čas cyklu řešen u jednotlivých návrhů pracovišť.

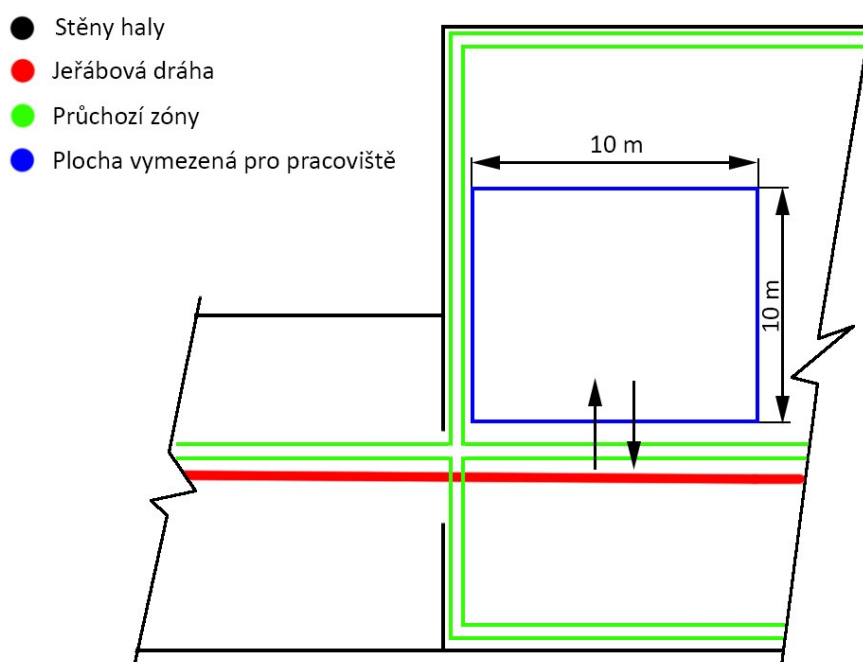
## 4 Požadavkový list

Ze zadání a z výše uvedené analýzy byly sumarizovány požadavky na pracoviště. Obecně je důvodem k robotizaci finanční úspora v rámci několika let a také sjednocení kvality svarů.

Tabulka 4 List požadavků na pracoviště

Situační požadavky	
Požadavek	Hodnota
Maximální zastavěný prostor	(10x10) m
Orientace vstupu do pracoviště a přísunu dílů	Viz obrázek 4.1
Proces	
Požadavek	Hodnota
Technologie svařování	MIG, rozměry svarů dle přílohy A
Čas cyklu	Požadavek na vypracování časové studie ekonomicky přijatelných variant.
Dostupné přívody energie	Stlačený vzduch 6 bar, Elektrická energie
Hmotnosti dílů	
Plášť:	101 kg (2ks)
Zub:	4,05 kg (54ks)
Zub spojovací:	2,43 kg (12ks)
Žebro:	0,77 kg (4ks)
Hmotnost výrobku:	454 kg
Manuální vkládání dílů do pracoviště	-
Obecné	
Požadavek	Hodnota
Parametry podlahy	
Manipulace s výrobkem	Jeřáb na podvěsné dráze
Ekonomické požadavky	
Návratnost	Zhodnocení návratnosti provede zákazník dle dodané časové studie a nacenění pracoviště.

Prostory vymezené pro navrhované pracoviště jsou schematicky znázorněny na Obr. 4.1. Daný prostor je situován poblíž stěny haly, avšak stěnu není možné využít pro ohraničení pracoviště, protože se zde vyskytuje průchozí zóna. Průchodem mezi halami je vedena podvěsná jeřábová dráha, která má být využita také pro manipulaci se svařencem vytvořeným v navrhovaném pracovišti. Maximální půdorysné rozměry pracoviště jsou 10 m x 10 m.



Obr. 4.1 Dispoziční schéma haly

## 5 Návrh pracoviště

V této kapitole budou nastíněny možnosti provedení jednotlivých periférií a z nich budou sestaveny varianty pracoviště. V této fázi jsou řešeny pouze části, jež ovlivní rozložení robotizovaného pracoviště a mají zásadní vliv na koncepci. Před samotným návrhem periférií a pracoviště je nutné definovat posloupnost operací, které budou na pracovišti vykonávány.

Po přivezení jednotlivých dílů na pracoviště, je nutné nejdříve tyto díly upnout do přípravku, poté ručně navařit spojovací zuby a obě poloviny válce sešroubovat. Tento postup je nutné dodržet, aby nedošlo k deformaci plechů během automatického svařování. Poté může dojít ke svařování robotem. Jakmile je robot hotov, přichází na řadu výstupní kontrola a případně také ruční navaření žeber. Vzhledem k nutnosti kombinovat ruční a robotické svařování je vhodné koncipovat pracoviště tak, aby mohly být obě operace vykonávány současně a tím došlo ke zkrácení celkového času. Možná posloupnost operací je znázorněna v tabulce 5.

Tabulka 5 Posloupnost operací

Operace	Časové úseky												
Upnutí do přípravku	■				■				■				
Navaření půlených zubů		■				■				■			
Přesun na robotické pracoviště			■			■					■		
Automatické svařování				■	■	■		■	■	■		■	■
Přesun na manuální pracoviště							■				■		
Navaření žeber/výstupní kontrola								■				■	
Přesun na navazující pracoviště									■				■

### 5.1 Polohovadlo

#### 5.1.1 Jednoosé polohovadlo

Při použití jednoduchého jednoosého polohovadla bude po dokončení svařování vyměněn přípravek s hotovým dílem za přípravek již osazený plechy válce. Druhou možností je rozdělit pracoviště na dvě pracovní oblasti, z nichž každá bude obsahovat jedno polohovadlo. Tím se zabrání prostojům vznikajícím při výměně svařence.



*Obr. 5.1 Jednoosé polohovadlo*

### 5.1.2 Jednoosé oboustranné polohovadlo

Toto polohovadlo má dva rotory rozdělené plentou. Umožňuje osazování svařence na jedné straně během svařování na straně druhé. V případě nákupu standardního polohovadla například od firmy Motomann nebo ABB je cena zhruba dvojnásobná oproti ceně jednoosého polohovadla. Pokud by se přistoupilo na konstrukci vlastního polohovadla, cena by pravděpodobně byla ještě vyšší. Konkrétní částky se odvíjejí od velikosti a nosnosti polohovadel.

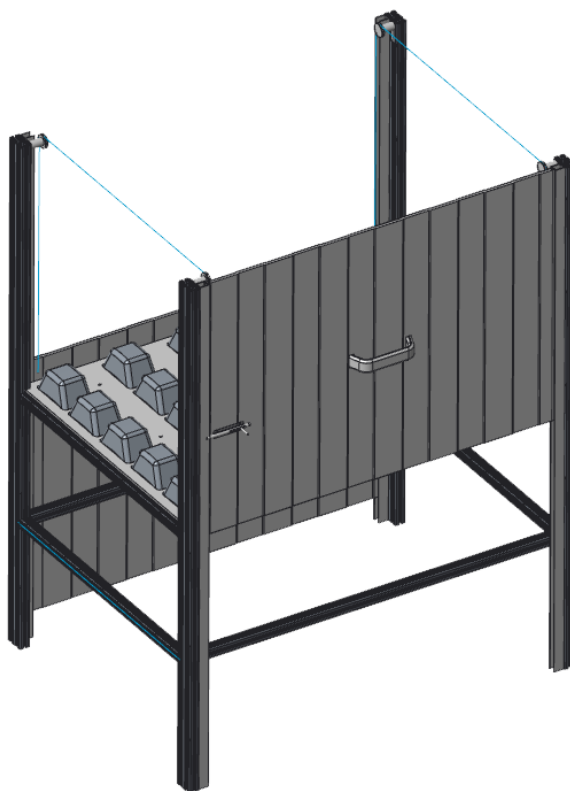


*Obr. 5.2 Dvouosé polohovadlo*

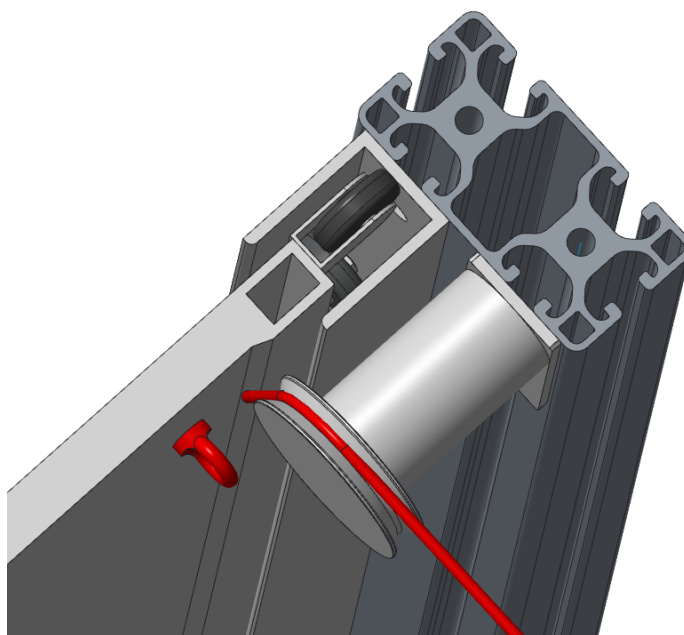
## 5.2 Vstup zubů a žeber

### 5.2.1 Zásobníky s výsuvnými dveřmi

Jednou z možností je vkládat polotovary do zásobníků s posuvnými stěnami na obou stranách. Deska stolu bude obsahovat vyfrézované drážky o půdorysných rozměrech zubů tak aby operátor vložil zub vždy na stejné místo. Stěny zásobníku mohou být poháněny pneumaticky anebo manuálně za použití lanek tak, aby se při otevření jedné strany druhá strana sama zavřela a nedošlo tak ke vzniku otevřeného vstupu do pracoviště. Je možné použít jednu velkou komoru s takovým počtem zubů, aby vystačili na celý svařenec. Zde by ovšem mohlo dojít k problému s dosahem robotu a ergonomií takového řešení. Druhou možností je použití dvou menších oddělených komor, kdy z jedné by byly zuby odebírány robotem a do druhé komory by byly průběžně vkládány obsluhou.

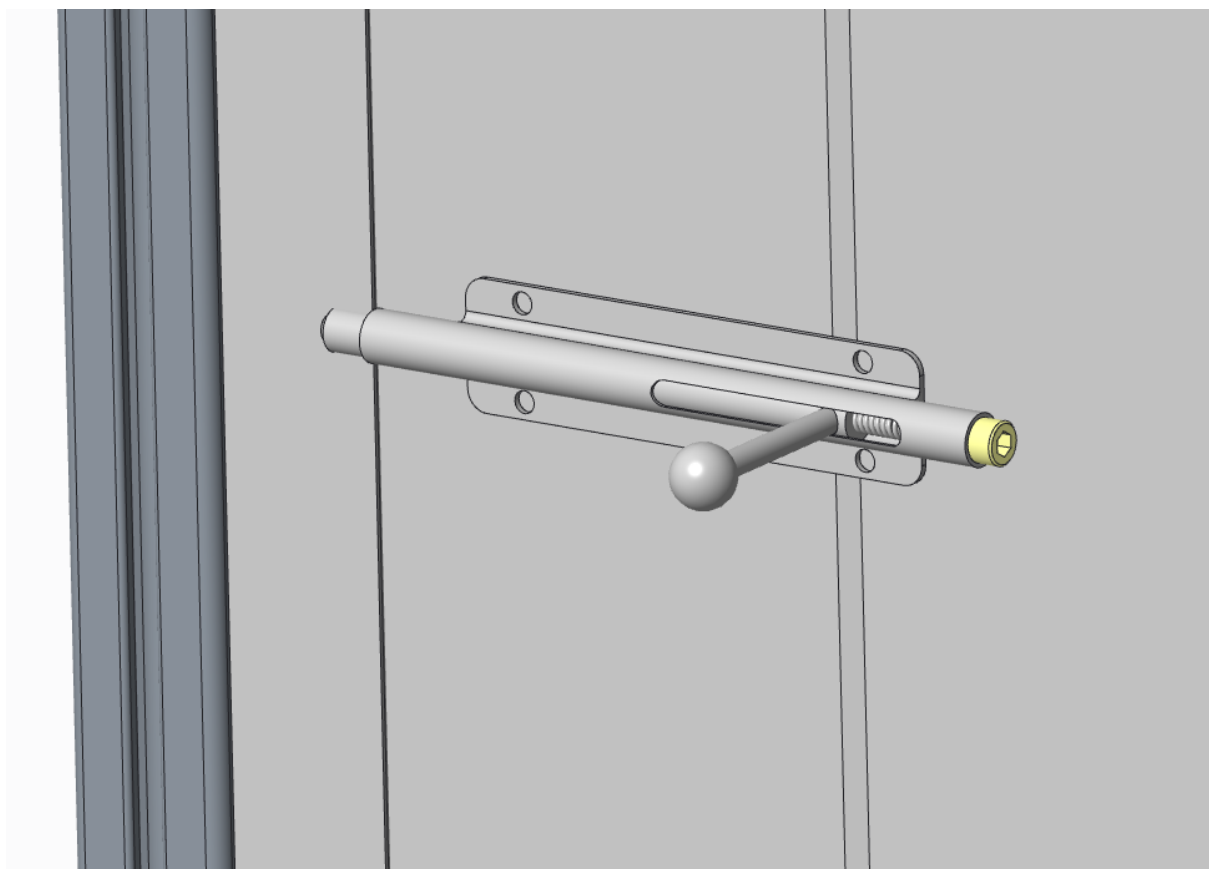


*Obr. 5.3 Box na zuby s výsuvnými dveřmi*



*Obr. 5.4 Kladkový systém posuvných dveří*

V obou krajních polohách budou umístěny koncové spínače, dále bude v dosahu dveří umístěno potvrzovací tlačítko operátora. Díky těmto prvkům bude řídicí systém robotu vědět, že může začít s odběrem zubů. Samotné dveře se zajistí například západkou



*Obr. 5.5 Západka výsuvných dveří*



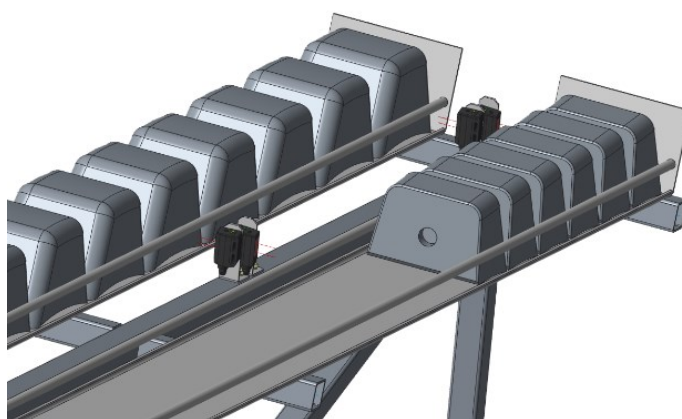
### 5.2.2 Skluz se zásobníkem

Další možností je vkládání zubu jednotlivě na skluz. Zuby sklouznou do zásobníku, ze kterého budou odebírány robotem. Skluz je možné zdvojit, to by umožnilo vytvoření větší zásoby zubů. Skluzy musí být od sebe postaveny s dostatečným odstupem, aby bylo možné jednotlivé zuby uchopit. Po stranách jsou namontována boční vedení.



*Obr. 5.6 Gravitační skluz*

Optické senzory budou kontrolovat přítomnost zubu na odběrném místě a také na úrovni  $n$ -tého zubu pro vyhodnocení počtu zubů v zásobníku. Při nízkém počtu zubů systém aktivuje akustickou nebo světelnou výstrahu.

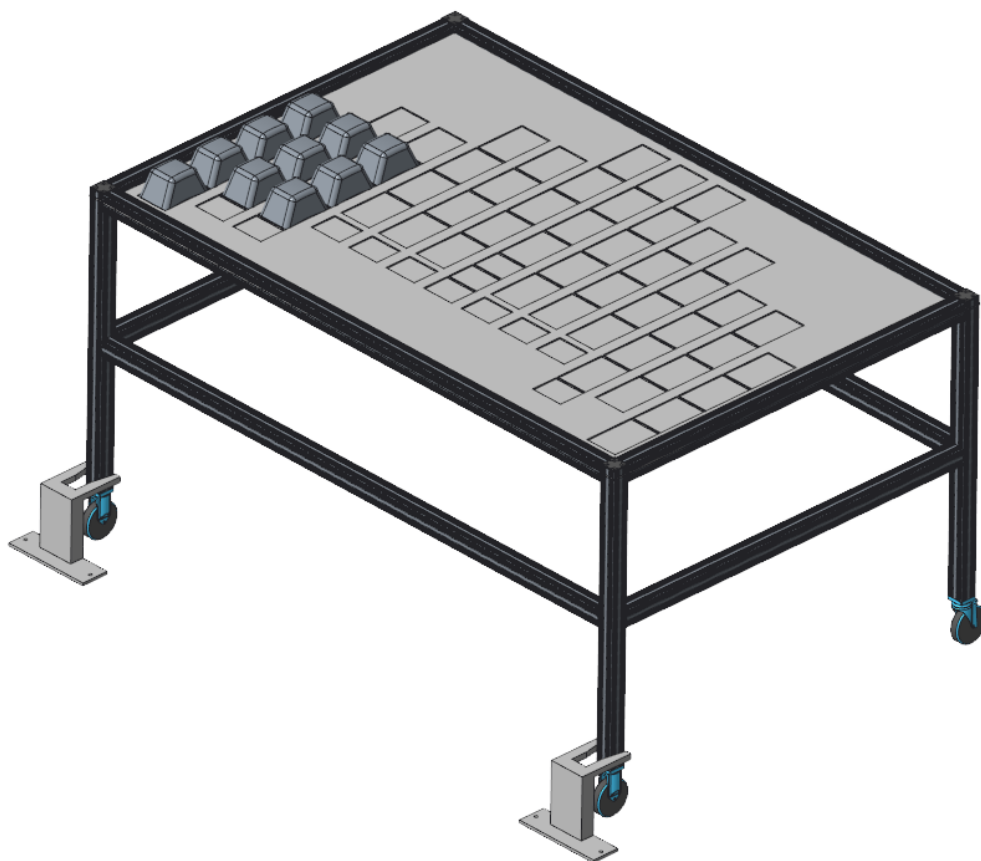


*Obr. 5.7 Umístění senzorů na skluzu*

### 5.2.3 Stůl v pracovním prostoru

Při výměně svařence, popřípadě přípravku by bylo možné také vyskládat zuby na stůl umístěný v blízkosti robotu nebo pro větší časovou efektivitu vyměnit prázdný stůl za plný.

Obdobně jako u zásobníku popsaném v kapitole 5.2.1 se budou zuby vkládat do vyfrézovaných drážek. Vzhledem k počtu zubů je předpokladem velká pracovní obálka robotu.



*Obr. 5.8 Mobilní stůl*

Při použití pojízdného stolu je důležité, aby byl stůl po výměně ustaven přesně na předem definovaném místě. Proto je nutné do návrhu zahrnout systém pro uzamčení polohy stolu.

## 5.3 Vstup do nakládacího/pracovního prostoru

### 5.3.1 Manuální posuvné dveře

Posuvné dveře s koncovým spínačem a automatickým nebo manuálním zámek. Tyto dveře jsou standardně dodávány řadou výrobců, a to i v celoplechovém provedení. Jedná se o nejlevnější variantu.



*Obr. 5.9 Posuvné dveře*

Dveře mohou být vybaveny bezpečnostním bezdotykovým spínačem a bezpečnostním zámek. Celoplechová varianta může být osazena oknem s UV filtrem.

### 5.3.2 Rolovací dveře

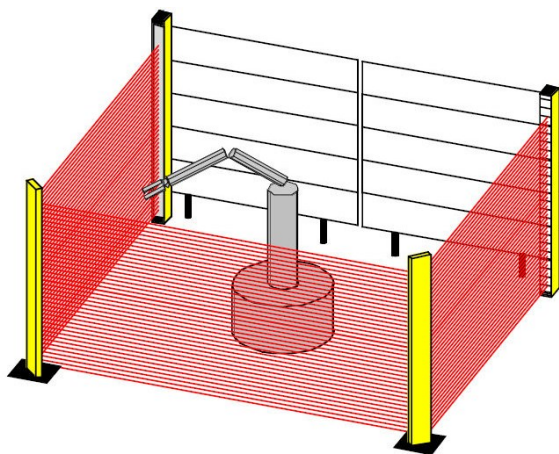
Rolovací dveře jsou vhodné tam, kde je nedostatek prostoru a také tam kde je vyžadováno rychlé otevírání a zavírání s vyšším počtem cyklů, což ovšem není náš případ. Na druhou stranu tyto dveře obsahují řadu bezpečnostních prvků, které lze navíc velmi jednoduše zakomponovat do logiky celého pracoviště. Nicméně se jedná o velmi nákladné zařízení, nacházející uplatnění především v automotive.



*Obr. 5.10 Rolovací dveře Albany*

### 5.3.3 Optická zábrana

Použity mohou být buďto světelné závory nebo laserový skener. Tato možnost je dobře kombinovatelná s dvojitým polohovadlem s plentou, které oddělí nakládací prostor od pracovního. Vzniká ovšem nebezpečí neúmyslného přerušení paprsku obsluhou a tím k pozastavení operace, což je jeden z důvodů, proč je v případech, kdy je to možné, vždy upřednostňována mechanická zábrana. Dalším důvodem je pak cena, která je hlavně v případě laserového skeneru poměrně vysoká. Cena základního modelu tohoto zařízení od společnosti Sick je 43 000 Kč bez DPH.



*Obr. 5.11 Světelné závory*



*Obr. 5.12 Laserový skener*

## 6 Konfigurace variant

V této kapitole je graficky zobrazen návrh variant nakonfigurováním jednotlivých uzlů. Varianty byly voleny tak aby vybrané periferie společně dobře zapadaly do celkového konceptu pracoviště. Zohledněny byly funkční, dispoziční, ergonomické a ekonomické aspekty. Vybrané varianty jsou schematicky vyobrazeny na Obr. 6.1. U návrhů, na kterých je znázorněn jen jeden válec se počítá se samostatným ručním pracovištěm. Návrhy s jedním robotem předpokládají využití kombinovaného efektoru, který bude schopen jak manipulace, tak svařování.



Obr. 6.1 Schéma navržených variant

Po konzultaci ve firmě Valk Welding byl výběr zúžen na tři varianty – 1, 6 a 7. Tyto varianty budou dále rozpracovány v následující kapitole.

## 7 Srovnání variant

Pro srovnání variant byly navrženy a naceněny pouze ty části pracoviště, které jsou pro posuzování relevantní. To znamená pouze robotická část pracoviště. Zbytek, tedy ruční část pracoviště, bezpečnostní prvky a další konstrukční celky, bude pro všechny varianty stejný a bude popsán až u zvolené varianty.

### 7.1 Varianta A

Tato varianta vyžívá pouze jednoho robota s kombinovaným efektor. Efektor je vybaven hořákem i chapadlem. Z tohoto důvodu musel být použit těžší robot a sice Hundai YS080 GIII o nosnosti 80 kg. Nosnost robotu je předimenzovaná kvůli omezené nabídce robotů společnosti Valk Welding. Jedná se o univerzální robot, který se dá využít i k obloukovému svařování.

Aby mohla být tato varianta objektivně srovnána s ostatními, musí být nejdříve navržen zmíněný kombinovaný efektor. Pro pozdější srovnání variant pracoviště bude důležitá cena samotného efektoru a také omezení při svařování, která tento efektor přinese.

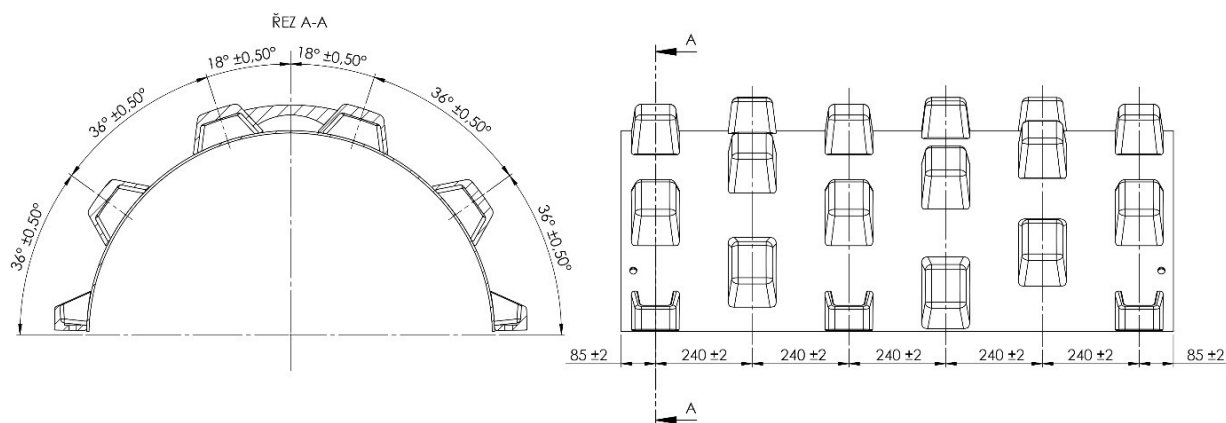
#### 7.1.1 Návrh kombinovaného efektoru

##### 7.1.1.1 Požadavkový list

Před samotným návrhem byl opět sestaven požadavkový list, který blíže specifikuje nároky na efektor. Při návrhu jsou samozřejmě brány v potaz i požadavky definované v kapitole 4.

*Tabulka 6 List požadavků na efektor*

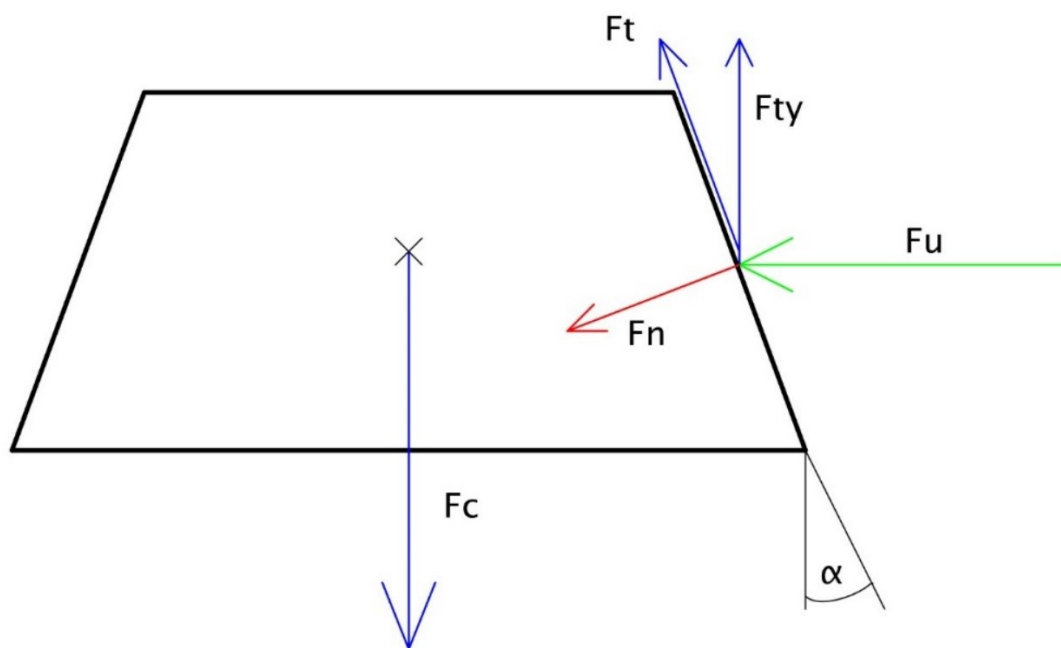
Požadavek	hodnota
Účel	Svařování a manipulace
Technologie svařování	MIG
Hmotnost OM	Max. 4,05 kg
Rozměry OM	viz Obr. 3.5 a Obr. 3.6
Další požadavky	
Dodržení předepsané přesnosti uložení svařovaných dílů dle EN ISO 13920 BE. Rozměrové přesnost OM dle ČSN EN ISO 8062	
Požadována schopnost manipulovat a svařovat zuby. Manipulace a svařování žeber pouze v případě, že tato funkce nebude znamenat příliš velké navýšení nákladů.	



Obr. 7.1 Tolerance uložení dle ISO 13920 BE

#### 7.1.1.2 Určení úchopné síly

Potřebná úchopná síla je počítána z rozkladu sil působících na objekt manipulace (Obr. 7.2). Při výpočtu je uvažován nejhorší případ, tedy zvedání zubu kolmo vzhůru, kdy se počítá síla způsobená gravitačním zrychlením a d'Alembertova síla způsobená samotným pohybem. Zrychlení robotu je voleno  $a = 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .



Obr. 7.2 Působení sil na OM

$$F_c = m(g + a) = 4,05(9,81 + 10) = 80,23 \text{ N} \quad [1]$$

$$F_c = F_{ty} \quad [2]$$

$$F_c = F_t \cdot \cos(\alpha) \rightarrow F_t = \frac{F_c}{\cos(\alpha)} = \frac{80,23}{\cos(7)} = 80,83 \text{ N} \quad [3]$$

Kontakt mezi prstem chapadla a zubem, zprostředkovává protiskluzová vrstva z EPDM pryže, koeficient tření je proto volen  $f = 0,5$ .

$$F_t = f \cdot F_n \rightarrow F_n = \frac{F_t}{f} = \frac{80,83}{0,5} = 161,67 \text{ N} \quad [4]$$

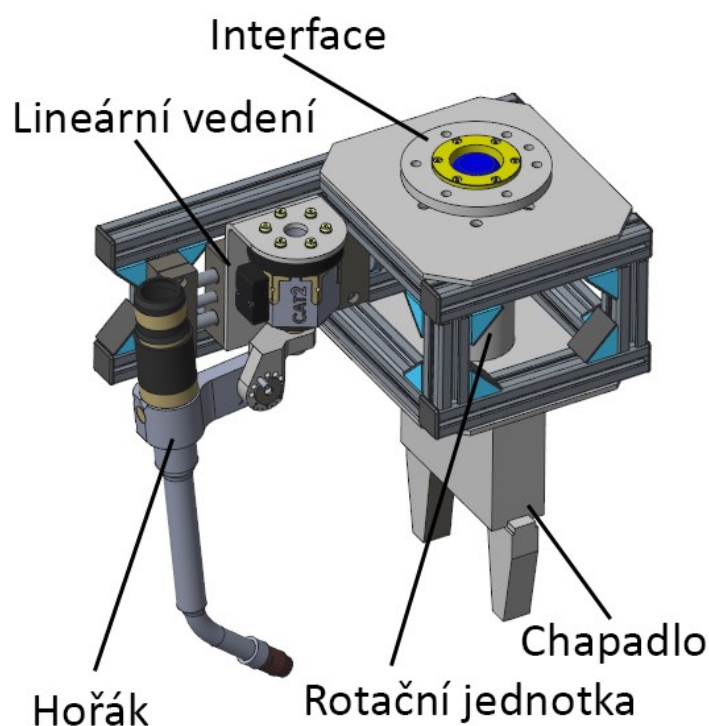
$$F_u = \frac{F_n}{\cos(\alpha)} = \frac{161,67}{\cos(7)} = 162,88 \text{ N} \quad [5]$$

$$F_{us} = F_u \cdot k = 162,88 \cdot 2 = 325,76 \text{ N} \quad [6]$$

Z Výpočtu vyplývá, že zvolené chapadlo musí vyvinout sílu úchopu minimálně o velikosti 325,76 N. Tento údaj poslouží při výběru chapadla.

#### 7.1.1.3 Varianta A

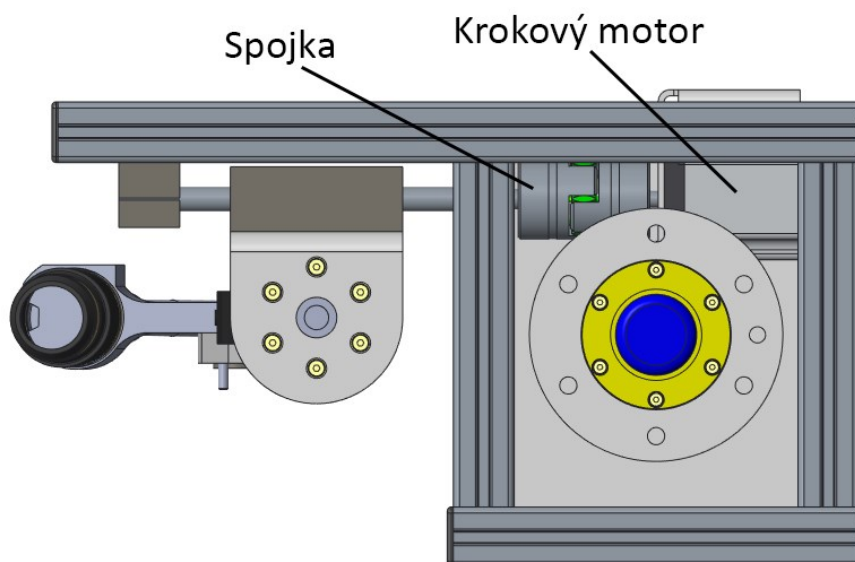
Jedná se o efektor se dvěma stupni volnosti. Toto řešení umožňuje zavařit celý zub a současně tento zub držet v čelistech. Tím odpadá potřeba detekce polohy zubu a nebezpečí sklouznutí zubu z válce. Při uchopení žebra pod úhlem, je tento efektor schopen nastehovat i žebro.



Obr. 7.3 Varianta A

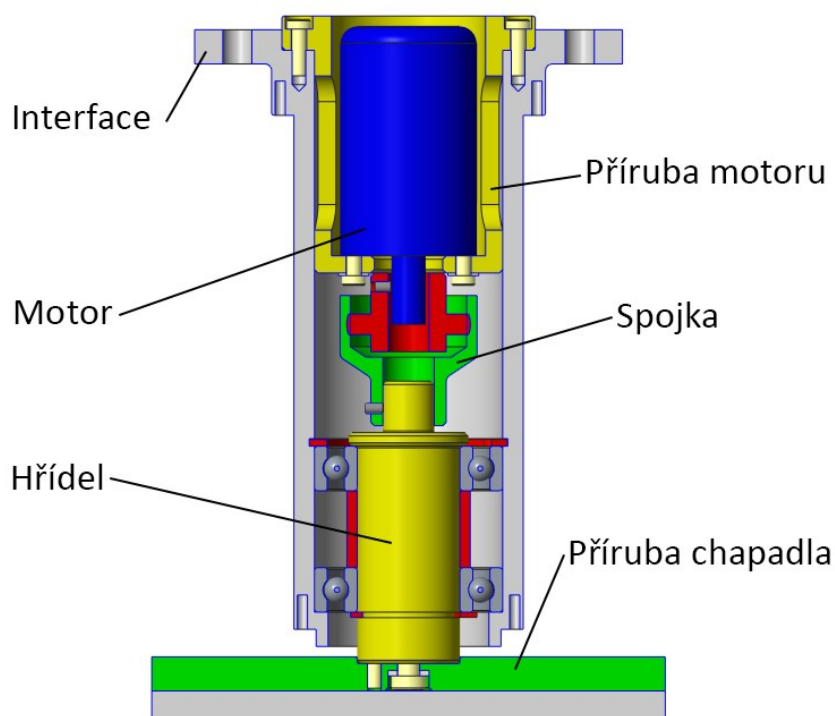


Hořák je umístěn v lineárním vedení, které je uváděno do pohybu krokovým motorem. Při použití rotace zápěstí robotu se koncový bod hořáku pohybuje v kruhových souřadnicích. Toho lze využít, protože vzhledem k orientaci zubu jsou sváry v jedné rovině. Chapadlo se otáčí kolem vlastní osy a tím kompenzuje rotaci robotu.



*Obr. 7.4 Varianta A – půdorys*

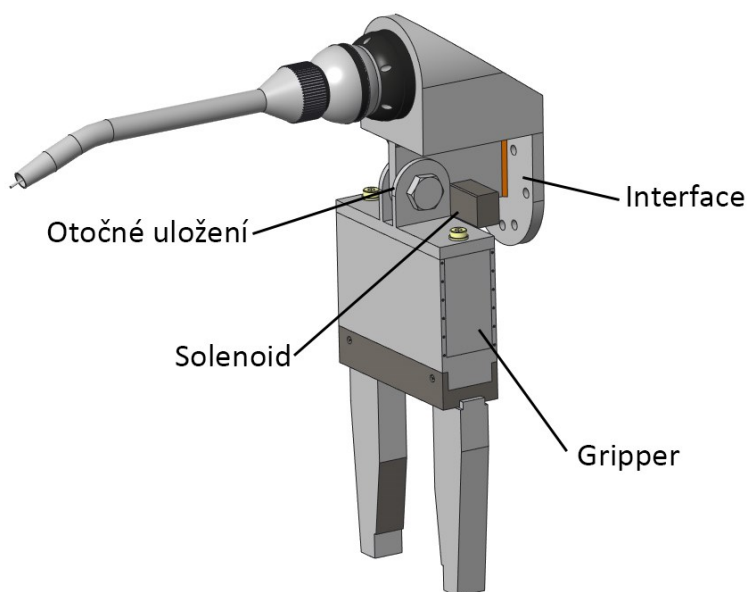
Rotační jednotka se skládá z motoru, spojky BoWex, která dokáže kompenzovat nepřesnosti a z hřídele uložené v ložiskách. Propojení hřídele s přírubou chapadla je realizováno šroubovým spojem a kolíkem.



*Obr. 7.5 Řez rotační jednotkou*

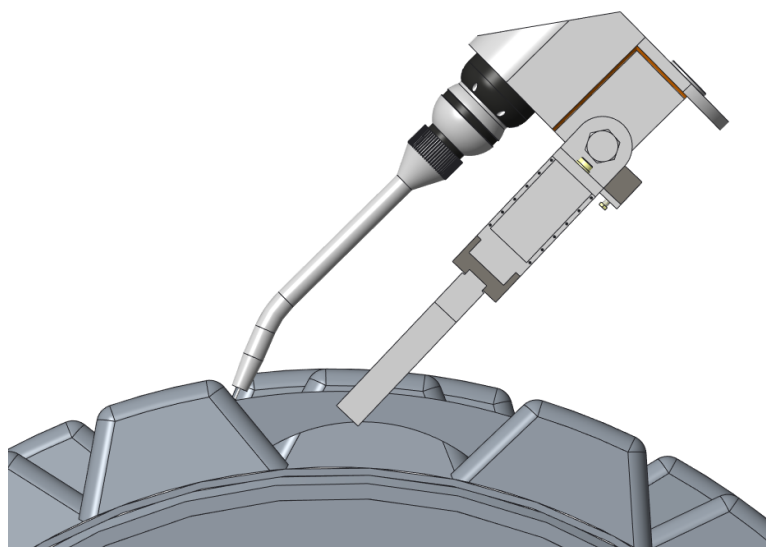
#### 7.1.1.4 *Varianta B*

Řešení dovoluje nabodovat žebro a tím umožní jeho svaření robotem. Při svařování zubu se tato varianta spoléhá na třecí sílu mezi zubem a válcem.



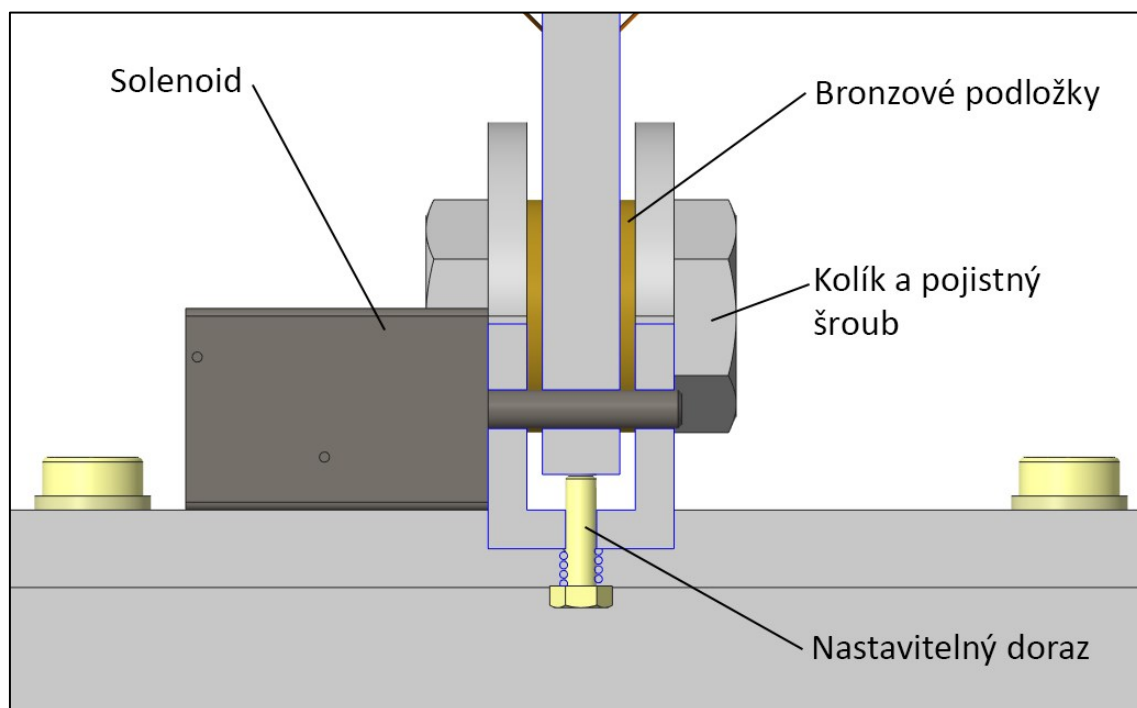
*Obr. 7.6 Varianta B*

Při manipulaci se žebrem je zasunut kolík, který zabráňuje otáčení chapadla. Po přemístění žebra na místo svařování je žebro přitlačeno do prizmatu tvořeného zuby. Následně je kolík zatažen a robot vykoná pohyb kolem osy otáčení efektoru. Tím pádem se otáčí hořák, zatímco žebro zůstává zaklíněno mezi zuby. Nakonec dojde k nabodování svaru. Aby nedošlo ke kolizi hořáku se zubem, musí být žebro uchyceno pod úhlem, viz Obr. 7.7.



*Obr. 7.7 Uchycení žebra*

Jak již bylo zmíněno, v tomto návrhu se nepočítá s nabodováním zubu při stálém úchopu chapadlem. Po prozkoumání odlitků se dospělo k závěru, že drsnost povrchu, hmotnost a geometrické tolerance na zubu v kombinaci s poloměrem zaoblení plechů, nedovolí zubu samovolně sklouznout. Díky daným geometrickým tolerancím je totiž zajištěno to, že rádius na dosedací ploše zubu bude vždy menší než vnější rádius plechů. Tím pádem bude zub dosedat na skružený plech vždy ve čtyřech bodech.

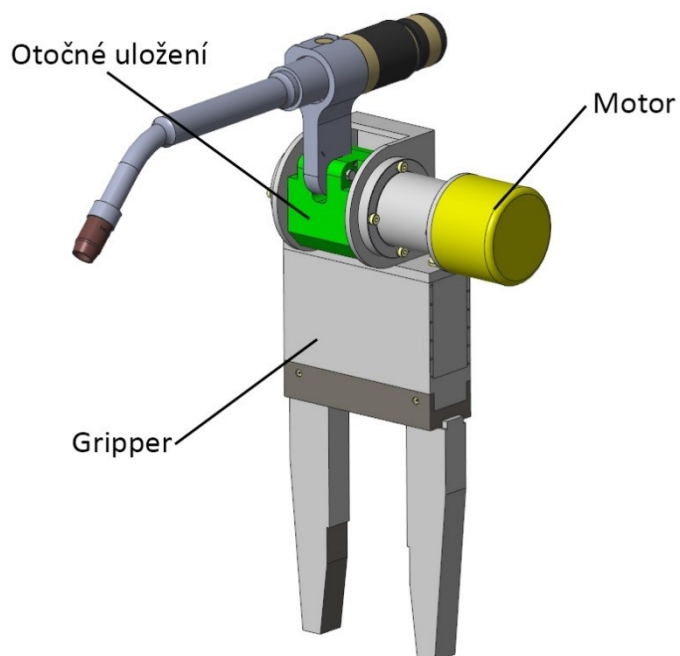


*Obr. 7.8 Varianta B – řez*

Doraz chapadla je nastavitelný. Otočná část je ke zbytku efektoru připojena kolíkem s vnitřním závitem a délkou přesahující rozteč vidlice. Z druhé strany je uložení zajištěno šroubem. Mezi vidlicí a deskou pevné části efektoru jsou umístěny kluzné podložky.

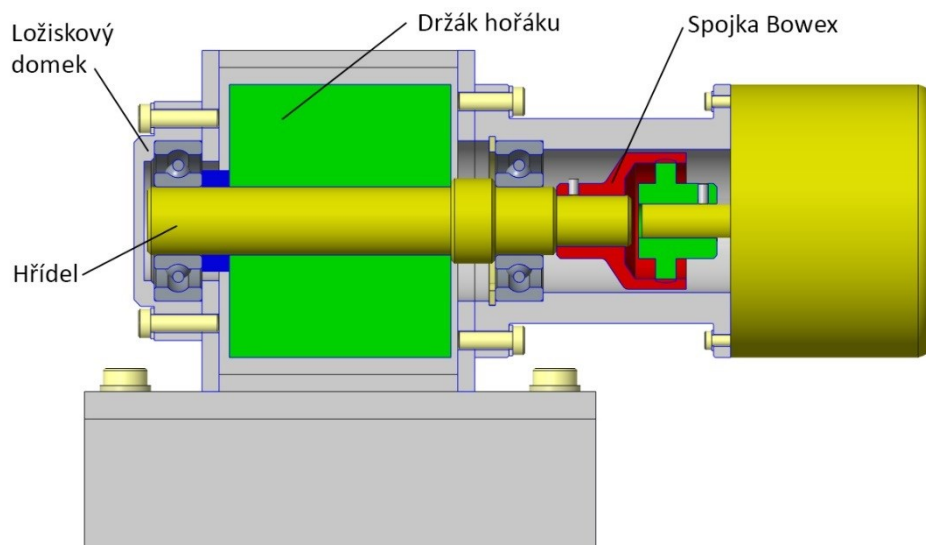
#### 7.1.1.5 Varianta B2

Jedná se o obdobu varianty B s tím rozdílem, že efektor není volně otočný, ale svařovací hořák je otáčen pomocí motoru. To zjednodušuje pohyb robotu při bodování a pohyb je lépe kontrolovaný, na druhou stranu je mechanismus značně složitější jak z pohledu konstrukce, tak z pohledu řízení.



Obr. 7.9 Varianta B2

Krouticí moment je přenášen těsnými pery přes hřídel, která je uložena v ložiskách. Aby bylo mechanismus možné smontovat, byla použita nasouvací spojka firmy KTR BoWex Junior, ta umožňuje prosté nasunutí motoru, který je poté zajištěn šrouby.

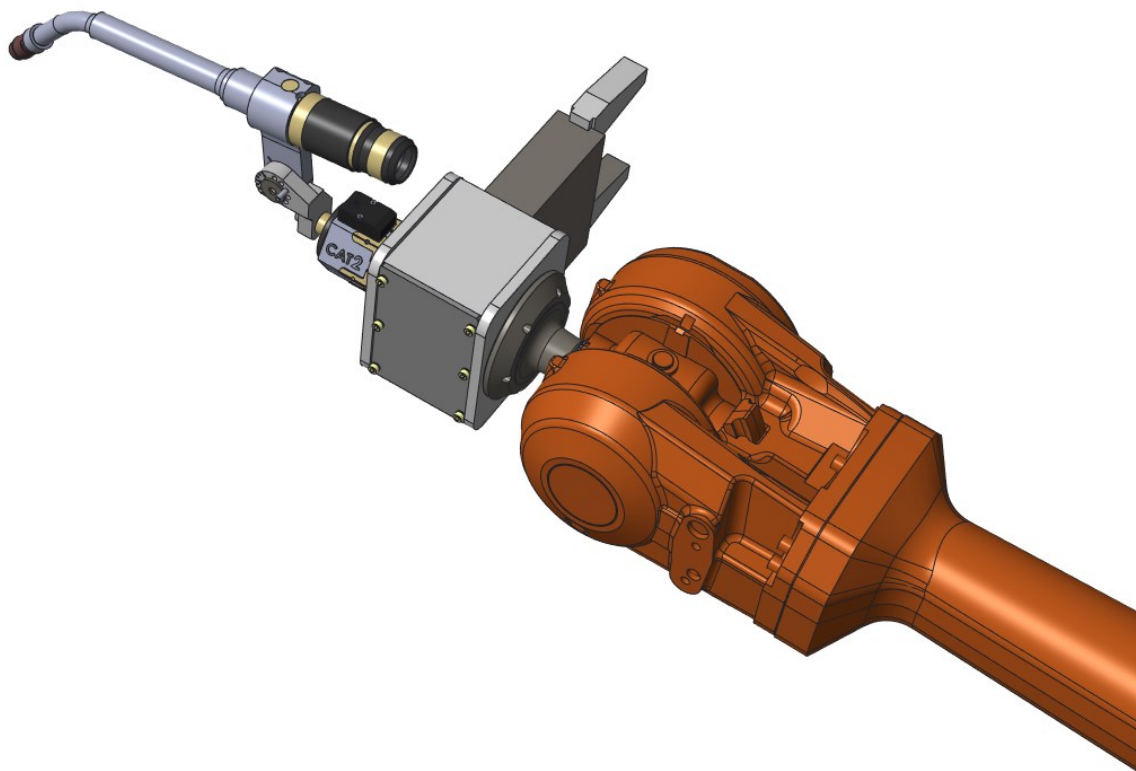


Obr. 7.10 Varianta B2 – řez rotační jednotkou

#### 7.1.1.6 *Varianta C*

Tento efektor má pevné uložení hořáku i chapadla. Chapadlo je umístěno v takové poloze, ve které nepřekáží při svařování. Řešení opět počítá s tím, že volně položený zub nemůže samovolně sklouznout. Řešení ovšem neumožňuje automaticky svařit žebra. Ta musejí být navařena ručně po dokončení automatického svařování. Svařování bude vyžadovat detekci polohy svařence.

Hořák i chapadlo jsou přišroubovány k rámu efektoru. Rám je opatřen kryty, které skrývají kabely ze senzorů. Ty jsou následně vyvedeny z rámu ven husím krkem. Hořák je uložen v ose příruby robotu.



*Obr. 7.11 Varianta C*

#### 7.1.1.7 *Varianta D*

Poslední navržená varianta využívá magnetický efektor. Je zde použit elektropermanentní magnet. To znamená, že po přivedení elektrické energie se aktivuje nebo deaktivuje magnetické pole. Délka aktivace a deaktivace se pohybuje okolo jedné sekundy. Po aktivaci dojde k uzamčení pole a přívod energie již není potřeba. Díky tomu značně klesá energetická náročnost efektoru.

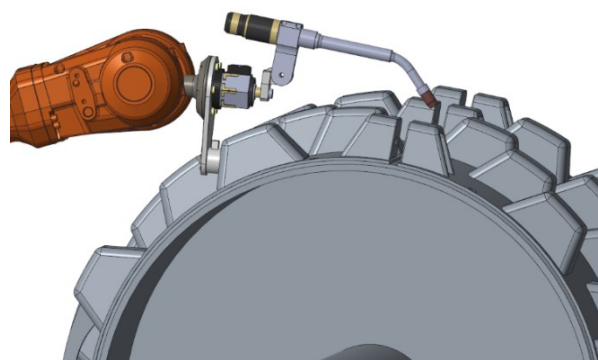


*Obr. 7.12 Varianta D*

Efektor se skládá pouze z desky, která je osazena hořákem, magnetem a soustruženým válcem, který je k desce přišroubován. Tento válec slouží k vymezení polohy vůči přírubě robotu.



*Obr. 7.13 Varianta D – pohled zezadu*



*Obr. 7.14 Pokládání zubu*

#### 7.1.1.8 Porovnání variant

Parametry navržených variant byly vloženy do Tabulka 7. Ceny vyráběných dílů byly určeny na základě odhadu. Cena hořáku nebyla započítána, jelikož se vyskytuje u všech variant.

Tabulka 7 Parametry variant efektoru

	Varianta A	Varianta B/B1	Varianta C	Varianta D
<b>Hmotnost</b>	25,4 kg	14 kg / 18 kg	8,2 kg	6,2 kg
<b>Cena</b>	32 000 Kč	17 500Kč / 28 100 Kč	16 800 Kč	7 200 Kč
<b>Počet součástí*</b>	24	5/13	5	3
<b>Komplexnost</b>	3	2	1	1
<b>Náročnost řízení</b>	3	2	1	1

\* Není započítán spojovací materiál. Součásti hořáku a chapadla jsou brány jako jeden díl.

Varianta A přes její komplexnost a nákladnost nepřináší prakticky žádné výhody, původní myšlenka vytvořit svár při současném přidržování zubu se ukázala jako zbytečná. Zub se po položení na plech samovolně nepohne. Využití by se nabízelo u svaření žebra, ale vzhledem k počtu žebířů (4) není toto řešení ekonomicky výhodné.

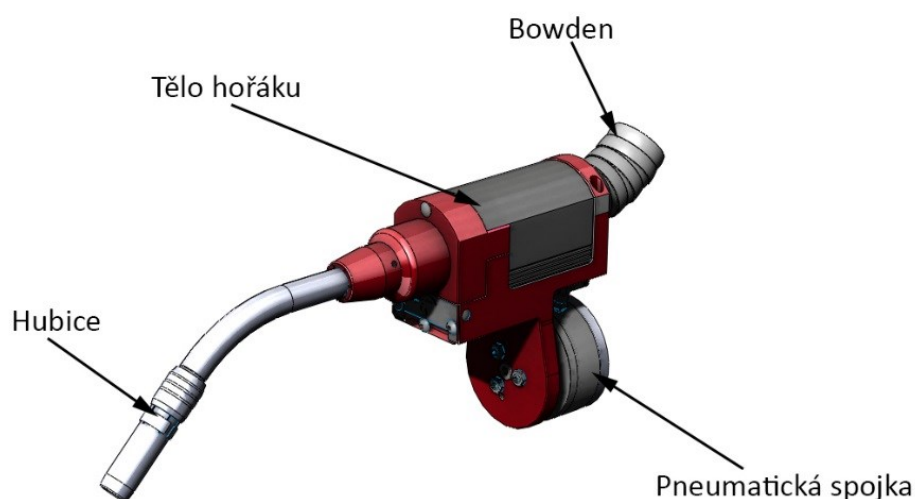
Stejná úvaha se dá aplikovat na varianty B a B1. Ačkoli se oproti variantě A jedná o značně jednodušší zařízení, přínos není tak velký.

Poslední varianta využívá magnetický efektor namísto mechanického. Zbytkový magnetismus zajistí pozici žebra a umožní tedy jeho svaření. Avšak toto s sebou nese i řadu nevýhod. Ulpívání kuliček na svařenci i na efektoru a nejistotu pozice zubu – možnost prokluzu.

Na základě diskuze byla tedy zvolena jako nejvhodnější varianta C. Napevno uchycený hořák a chapadlo značně snižují prostor pro poruchu a nepřesnosti. Ačkoli je tato varianta o něco nákladnější než varianta D, nevýhoda v podobě ulpívání kuliček u magnetického efektoru byla rozhodující. Pro korekci dráhy hořáku bude využito detekce pomocí dotyku, poté bude zub nabodován ve třech místech a následně svařen. Žebra budou svařena ručně po dokončení robotického svařování, kdy je také nutné udělat výstupní kontrolu svarů.

### 7.1.2 Zpracování zvolené varianty

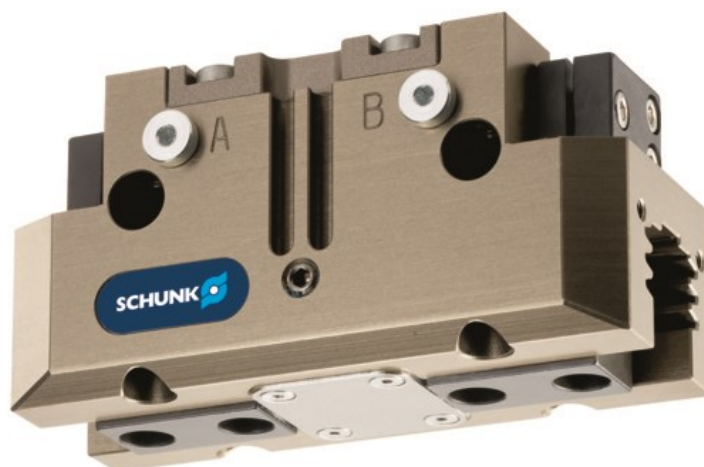
K aplikaci byl zvolen hořák firmy Valk Welding Towers-WGH. Jde o 500 A vodou chlazený hořák, který je vybaven pneumatickým zámekem, jenž je schopen odpojit hořák od příruby robotu v případě kolize. Po odpojení zůstane hořák viset na lanku, které je stále připojeno k robotu. Tím je redukováno nebezpečí poškození hořáku.



*Obr. 7.15 Hořák Towers WGH*

### Volba chapadla

Pro manipulaci s OM byl zvolen pneumatický, paralelní dvouprstý efektor firmy Schunk PGN+80-2-SD. Tato verze disponuje protiprachovým krytím a krytím IP64. Chapadlo je také vybaveno systémem vnitřního ofuku, jenž využívá stlačený vzduch o tlaku 0,5 až 1 bar k čištění lineárního vedení od nečistot.



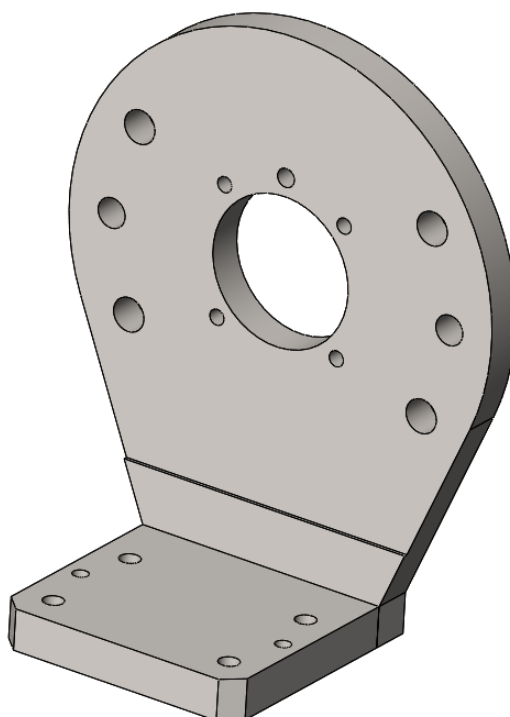
*Obr. 7.16 Pneumatické chapadlo Schunk*



Efektor je dále osazen senzorem MMS-P 22-S-M8-PNP, který umožňuje detekovat dvě polohy, tedy otevřeno a zavřeno. Senzor a také vodiče jsou vybaveny stíněním. Cena efektoru včetně senzoru je 22 364 Kč.

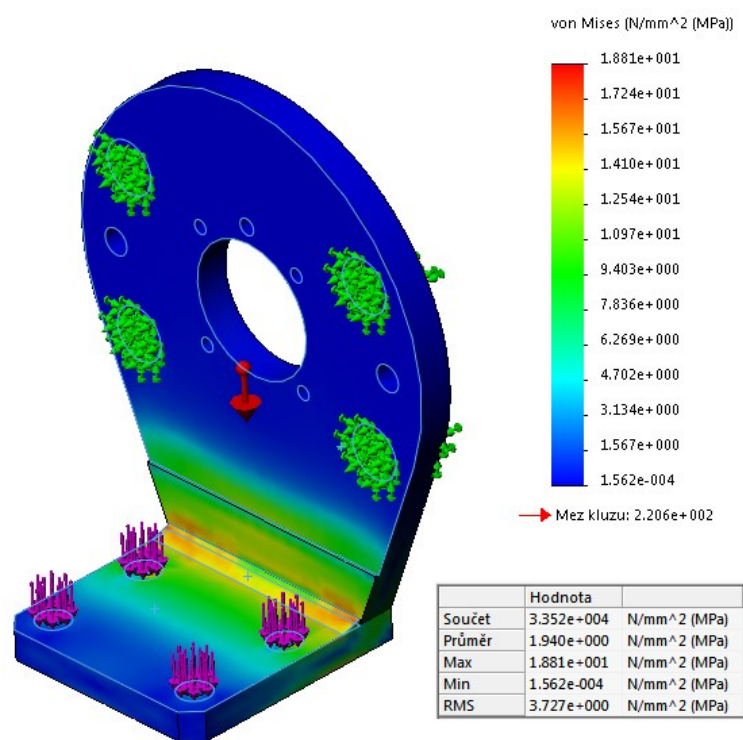
### **Konstrukce efektoru**

Efektor se skládá ze základního rámu, chapadla, hořáku a krytů. Byly navrženy a naceněny dva technologické postupy výroby rámu, a to svařovaný rám z výpalků a obráběný rám, viz příloha B. Cena za obráběný rám byla stanovena na 6 550 Kč, zatímco svařovaná varianta na 2 530 Kč. Pro finální návrh tedy byla vybrána svařovaná verze.



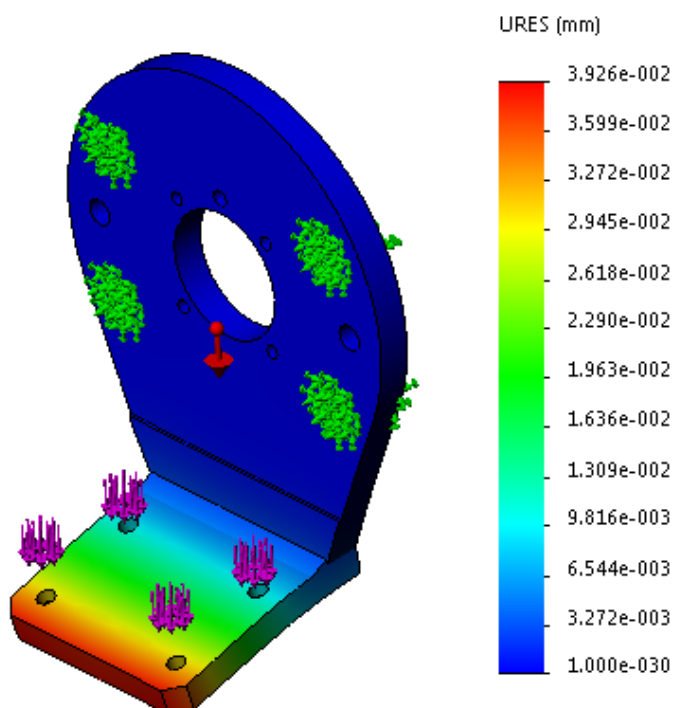
*Obr. 7.17 Rám efektoru*

V simulačním prostředí CAD systému Solidworks byly provedeny MKP analýzy rámu. Zatěžující síla  $F_z = 124,5 \text{ N}$  působí na stykové ploše rámu se šrouby. Velikost síly je dána hmotností OM, chapadla včetně prstů, krytu a spojovacího materiálu. Dále byla uvažována síla vzniklá zrychlením  $a = 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Rám je upevněn v místě kontaktu s přírubou robotu. Výsledné nejvyšší napětí v rámu je 18,8 MPa, což při použité oceli 11 523 s mezí kluzu 220 MPa odpovídá koeficientu bezpečnosti 11,7.



Obr. 7.18 Napětí v rámu efektoru

Deformace rámu od zatížení silou  $F_z$  je znázorněna na Obr. 7.19. Maximální posunutí bodu činí 0,04 mm.

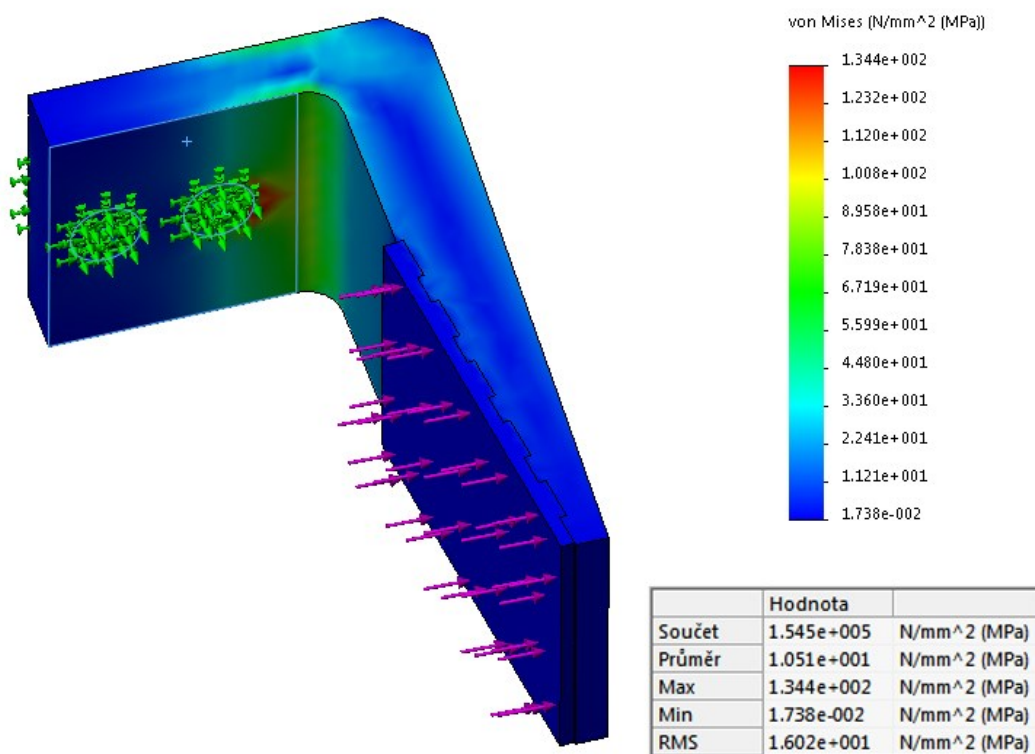


Obr. 7.19 Deformace rámu

Propojení rámu s hořákem a přírubou robotu je souosé. Chapadlo je připevněno ke spodní části rámu a jeho poloha je vymezena pomocí středících kroužků. K rámu je přišroubován kryt, který chrání chapadlo před ostřikem roztaveného kovu ze svařování. Krytování je zhotoveno z ohýbaného výpalku o síle 2 mm.

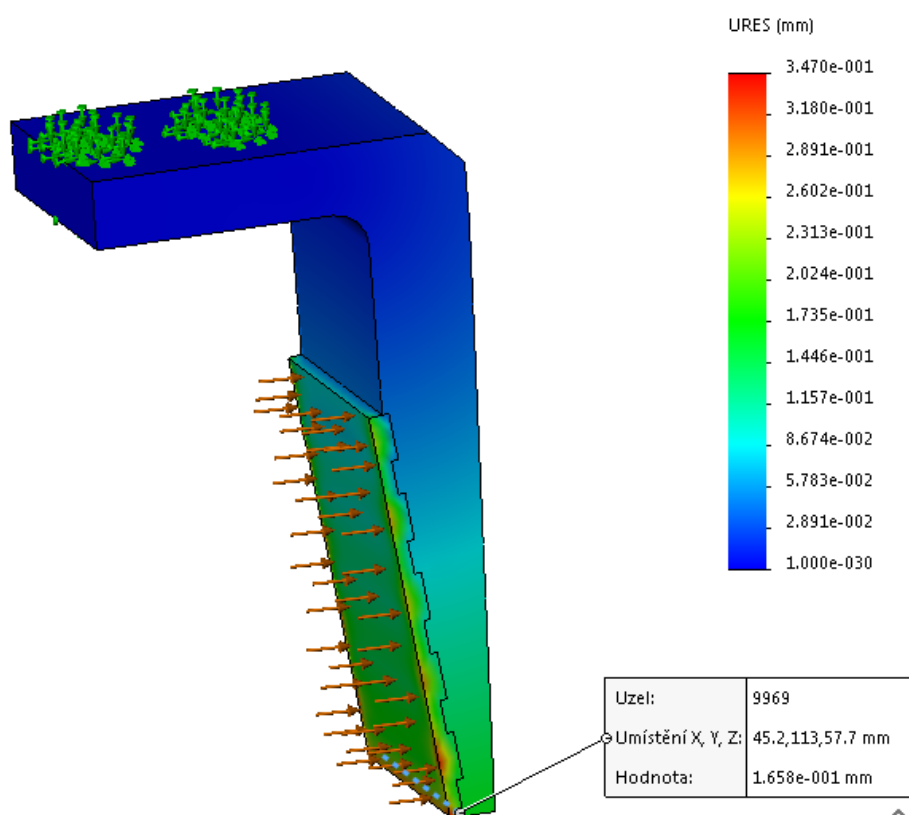
Prsty efektoru jsou frézovány z oceli a jsou vybaveny protiskluzovou plochou, jenž je k prstům přilepena. Použitým materiálem je tvrzená EPDM pryž se zvýšenou odolností vůči UV záření.

Pro prst efektoru byla také provedena pevnostní analýza. Zatěžující síla byla volena dle parametrů chapadla, který vyvine maximální úchopnou sílu o velikosti  $F_{uk} = 860 \text{ N}$ . Materiál prstu je 12060.1, mez skluzu je tedy 350 MPa. Nejvyšší napětí dosahuje hodnoty 134 MPa a vyskytuje se v místě kontaktu prstu a podložky šroubu. Výsledný koeficient bezpečnosti je tedy 2,6.



Obr. 7.20 Napětí prstu efektoru

Z hlediska deformace se pochopitelně nejvyšší hodnoty vyskytují na pryžové podložce. Pomineme-li tento prvek, pak je největší posunutí bodu rovno 0,165 mm. Tato hodnota pro zamýšlený účel zcela postačuje.



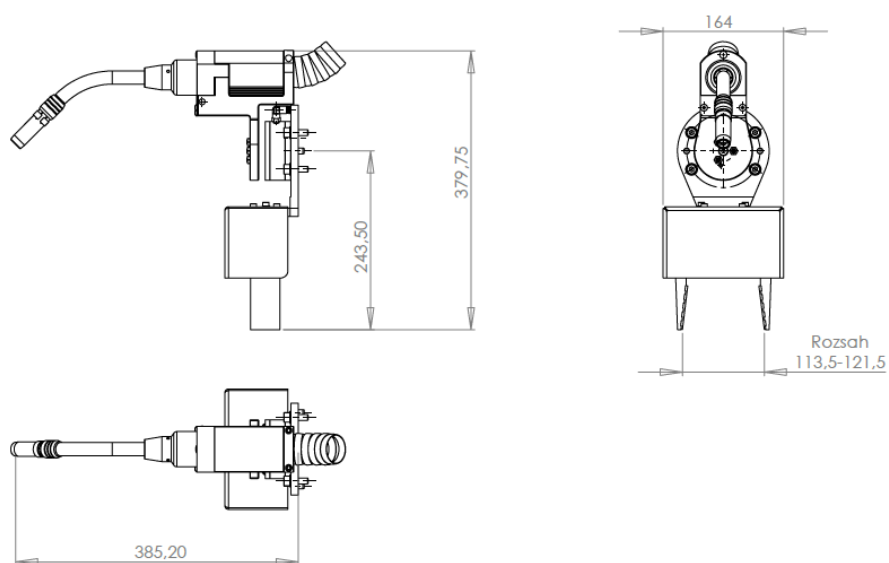
*Obr. 7.21 Deformace prstu*

Obrázek Obr. 7.22 zachycuje finální sestavu efektoru. Celková hmotnost efektoru bez OM je 8,1 kg, s OM pak 12,15 kg.



*Obr. 7.22 Výsledné řešení efektoru*

Obrysové rozměry, stejně jako rozsah čelistí, jsou zakótovány na Obr. 7.23 Obr. 7.17. Maximální uchopovací síla při provozním tlaku 6 bar je 860 N.



*Obr. 7.23 Rozměry efektoru*

Výrobní náklady na efektor jsou shrnuty v následující tabulce.

*Tabulka 8 Soupis nákladů na výrobu efektoru*

<b>Součást</b>	<b>Cena</b>
Svařovací hořák Tawers-WGH	40 000 Kč
Chapadlo Schunk PGN+80-2-SD	20 153 Kč
Senzory Schunk MMS-P 22-S-M8-PNP	2 211 Kč
Rám efektoru	2 530 Kč
Prsty efektoru	1 600 Kč
Kryt efektoru	550 Kč
<b>Celková cena</b>	<b>67 044 Kč</b>

K efektoru jsou přivedeny hadice se stlačeným vzduchem. Tlak je distribuován dle následující tabulky.

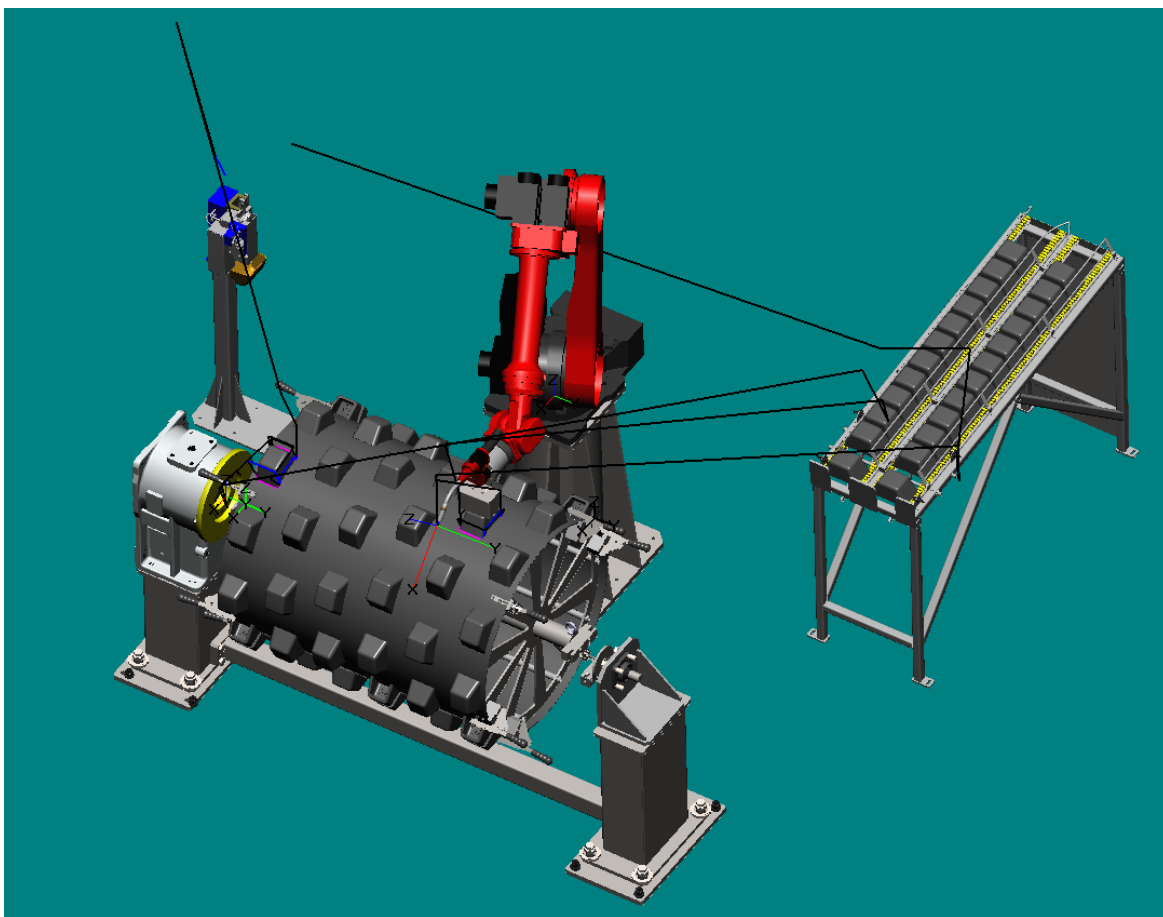
*Tabulka 9 Distribuce stlačeného vzduchu*

<b>Zařízení</b>	<b>Tlak [bar]</b>
Pneu. spojka hořáku	6 bar
Chapadlo - posuv	6 bar
Chapadlo - vnitřní ofuk	1 bar
Ofuk svařence	6 bar

### 7.1.3 Simulace varianty A

V nástroji pro simulace a off-line programování Panasonic DTPS byla vytvořena simulace pracoviště, kde byly ověřeny dosahy a zjištěn čas cyklu. Rychlosti pohybů robotu byly definovány následovně:

- Svařování – 0,25 m/min
- Pohyb bez OM – 120 m/min
- Pohyb s OM – 40 m/min
- Přiblížení a odjetí od svaru – 30 m/min



*Obr. 7.24 Simulace varianty A v prostředí DTSP*

Celkový čas operace je 83,7 minut. Nejsou zde započítány servisní přestávky v čistící stanici, jedná se čistě o čas potřebný pro svaření zubů včetně příslušné manipulace.

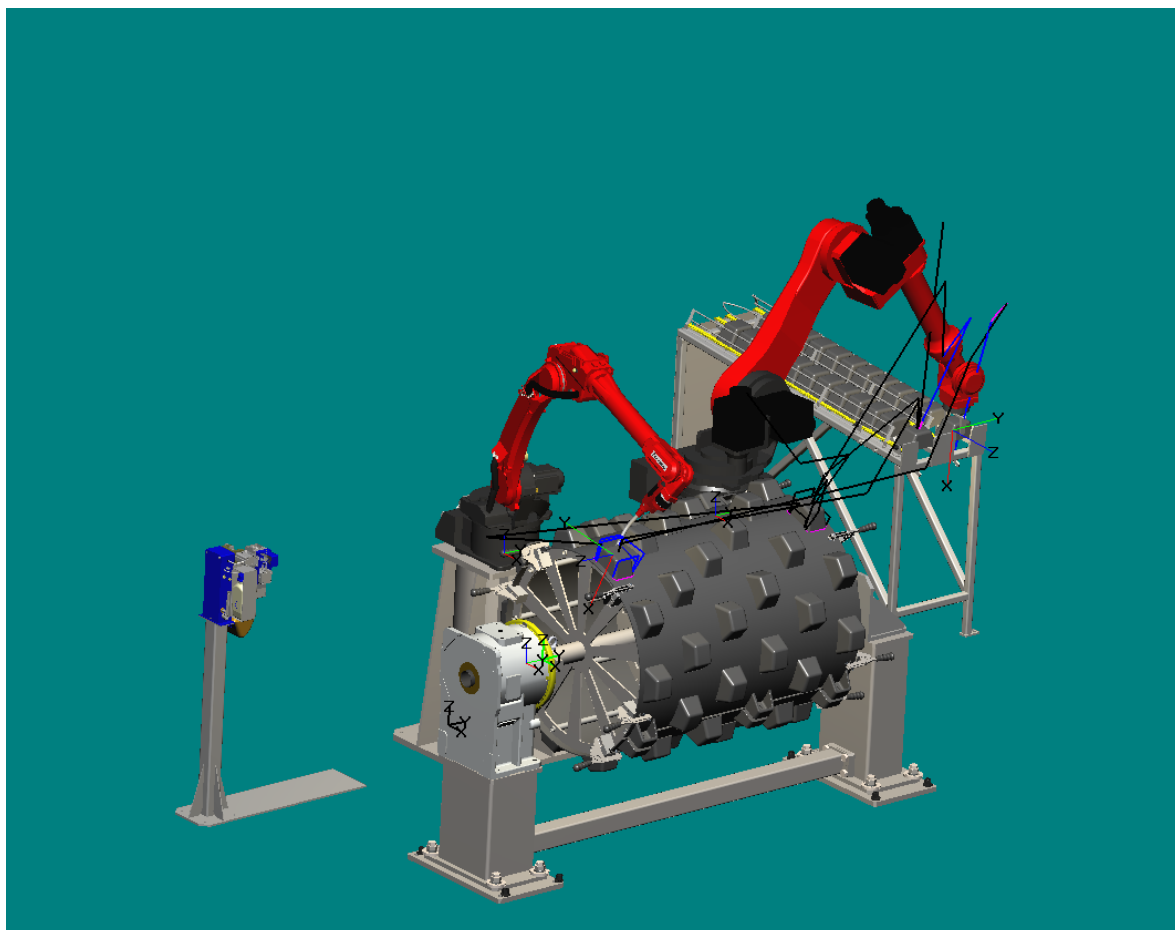
## 7.2 Varianta B

Druhá varianta využívá dvou robotů, jednoho svařovacího a jednoho manipulačního. Od tohoto řešení se očekává zrychlení cyklu a také schopnost navařit žebra, což předchozí varianta neumožňuje. Na druhou stranu stoupnou náklady na pracoviště spojené s pořízením druhého robotu, a to i přes to, že budou postačovat roboty se značně nižší nosností. V případě, že se přistoupí k automatickému svařování žebra, tak i efektor manipulačního robotu bude nákladnější, protože bude potřeba zvolit chapadlo s velkým rozsahem rozevření čelistí, aby bylo možné uchopit jak žebro, tak zub.

### 7.2.1 Simulace Varianty B

Rychlosti pohybu byly voleny stejně jako v předchozí variantě. Programování robotů proběhlo simultánně v režimu Master and Slave, kdy svařovací robot TL 2000 je řízen jako master a manipulační robot je Slave. To znamená, že roboty jsou řízeny stejnou rychlostí a před spuštěním dalšího příkazu každý z robotů čeká až druhý robot dokončí pohyb daný právě

vykonávaným příkazem. V reálné aplikaci by se roboty programovaly nezávisle na sobě, aby nedocházelo k prostojům. Například když by svařovací robot najížděl do čisticí stanice, manipulační robot by mohl připravovat další zub. Tento přístup k programování je však složitější. Servisní přestávky nebyly do porovnání jednotlivých variant zahrnuty, a tak byl program vytvořen se zmiňovaným Master and Slave přístupem.



*Obr. 7.25 Simulace varianty B v prostředí DTPS*

Čas potřebný pro svařování je 76 minut. Tedy pouze o 7 minut méně než u varianty A.

### 7.3 Varianta C

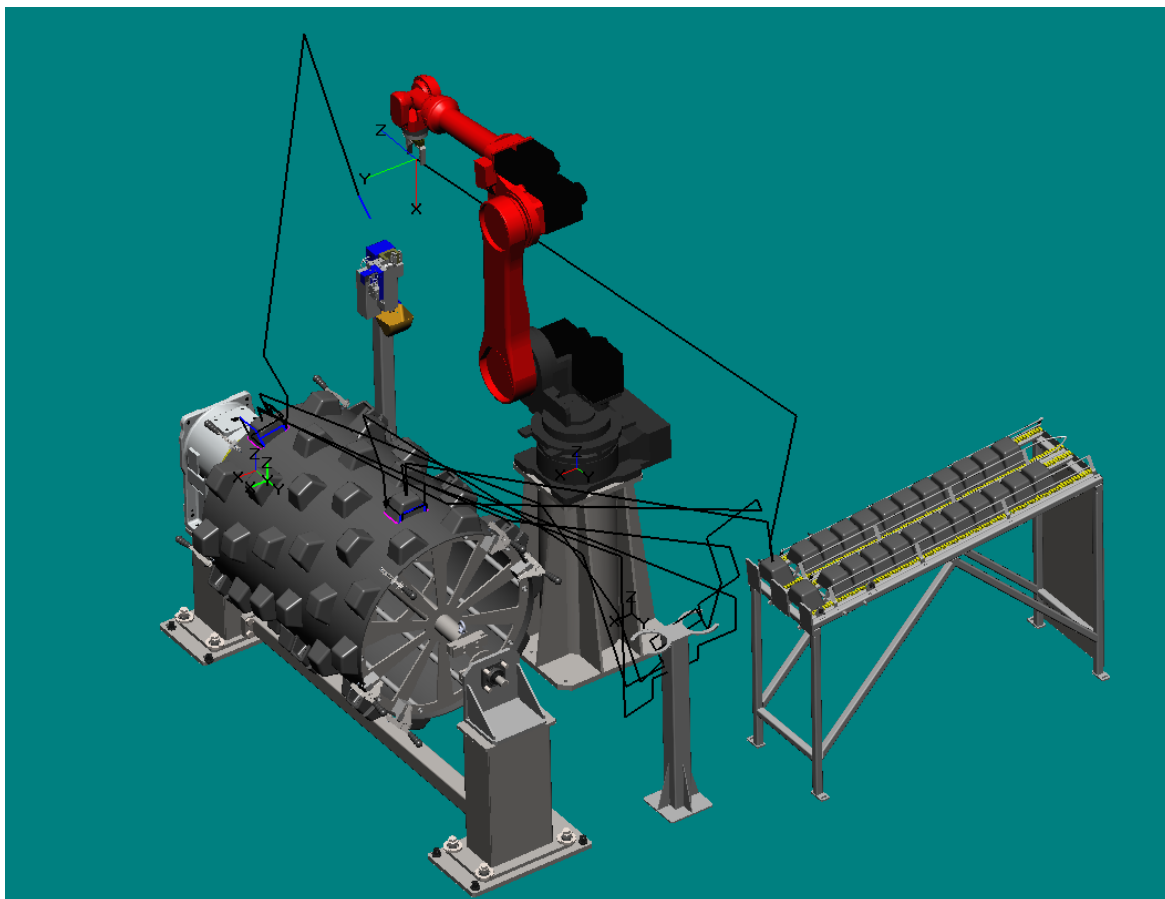
Poslední varianta využívá automatické výměny efektoru. Toto řešení opět umožňuje použití lehčího robotu. Jako nevýhoda se předpokládá nejdelší čas cyklu ze všech navržených variant.

Byl zvolen systém výměny Schunk SWK-011-000-000, jenž je vhodný pro efektor o celkové hmotnosti do 16 kg. V případě navrhovaného chapadla s objektem manipulace a hořáku se jedná o 5 kg, respektive 4 kg.



### 7.3.1 Simulace varianty C

V simulaci byly opět použity shodné rychlosti pro jednotlivé operace. Byl přidán podstavec simulující zařízení pro výměnu nástrojů. Samotný proces výměny byl simulován příkazem WAIT\_IP, jenž dává povel k pozastavení programu až do splnění podmínky. Ta byla definována časovou konstantou.



*Obr. 7.26 Simulace varianty C*

Celkový čas operace je dle původních předpokladů nejdelší a to 94,05 minut.

## 7.4 Nacenění variant

K vzájemnému ekonomickému posouzení variant byly započítány pouze ceny komponentů, jež se v závislosti na variantách mění. Dopravník, polohovadlo a přípravek jsou pro všechny varianty stejné, proto nemá smysl je do této kalkulace započítávat. Nacenění celého pracoviště bude uvedeno u popisu výsledného řešení v kapitole 8.5. Následující tabulky zachycují rozpis nákladů na jednotlivé komponenty. Ceny nakupovaných dílů byly poptány a ceny vyráběných součástí byly odhadnuty na základě tabulkových cen za materiál a technologii.

Tabulka 10 Nacenění varianty A

Cenová kalkulace Varianta A				
Položka	Rozpad	Cena/ks	ks	Celkem
Efektor	Svařovací hořák Tawers WGH 500A	40 000,00 Kč	1	40 000,00 Kč
	Chapadlo Schunk PGN+80-2SD	20 153,00 Kč	1	20 153,00 Kč
	Senzory Schunk MMA-P 22-S-M8-PNP	2 211,00 Kč	1	2 211,00 Kč
	Rám efektoru	2 530,00 Kč	1	2 530,00 Kč
	Prst efektoru	800,00 Kč	2	1 600,00 Kč
	Kryt	550,00 Kč	1	550,00 Kč
Robot	Robot YS-080G3	1 700 000,00 Kč	1	1 700 000,00 Kč
	Svářecí vybavení	360 000,00 Kč	1	360 000,00 Kč
	Podstavec robotu	15 010,00 Kč	1	15 010,00 Kč
Celková cena:				2 142 054,00 Kč

Tabulka 11 Nacenění varianty B

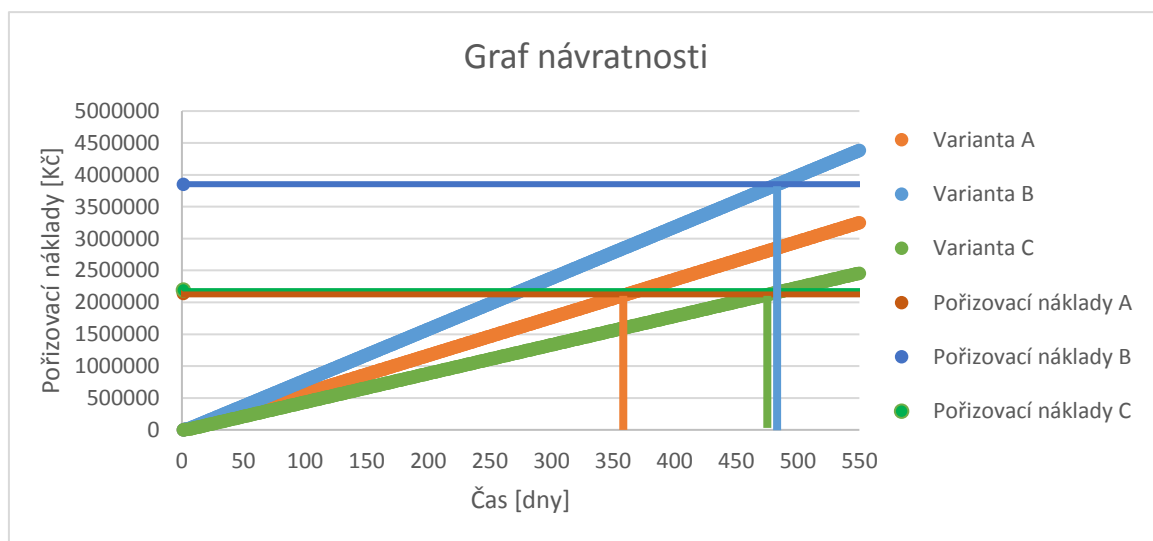
Cenová kalkulace Varianta B				
Položka	Rozpad	Cena/ks	ks	Celkem
Hořák	Svařovací hořák Tawers WGH 500A	40 000,00 Kč	1	40 000,00 Kč
Chapadlo	Chapadlo Schunk PGN+80-2SD	20 153,00 Kč	1	20 153,00 Kč
	Senzory Schunk MMA-P 22-S-M8-PNP	2 211,00 Kč	1	2 211,00 Kč
	Prst efektoru	800,00 Kč	2	1 600,00 Kč
Robot manipulace	M-20iA/12L	1 700 000,00 Kč	1	1 700 000,00 Kč
	Podstavec	15 010,00 Kč	1	15 010,00 Kč
Robot svařování	Panasonic TL2000 včetně svářecího vybavení	2 060 000,00 Kč	1	2 060 000,00 Kč
	Podstavec	15 010,00 Kč	1	15 010,00 Kč
Celková cena:				3 853 984,00 Kč

Tabulka 12 Nacenění varianty C

Cenová kalkulace Varianta C				
Položka	Rozpad	Cena/ks	ks	Celkem
Hořák	Svařovací hořák Tawers WGH 500A	40 000,00 Kč	1	40 000,00 Kč
Chapadlo	Chapadlo Schunk PGN+80-2SD	20 153,00 Kč	1	20 153,00 Kč
	Senzory Schunk MMA-P 22-S-M8-PNP	2 211,00 Kč	1	2 211,00 Kč
	Prst efektoru	800,00 Kč	2	1 600,00 Kč
Robot svařování	Panasonic TL 2000 včetně svářecího vybavení	2 060 000,00 Kč	1	2 060 000,00 Kč
	Podstavec	15 010,00 Kč	1	15 010,00 Kč
Výměna nástroje	Schunk SWK-011-000-000 - hlava	27 870,00 Kč	1	27 870,00 Kč
	Schunk SWA-011-000-000 - adapter	7 680,00 Kč	2	15 360,00 Kč
	Schunk A-SWK-011-ISO - montážní desky	5 820,00 Kč	1	5 820,00 Kč
	Stojan a příslušenství	10 000,00 Kč	1	10 000,00 Kč
Celková cena:				2 198 024,00 Kč

## 7.5 Porovnání variant

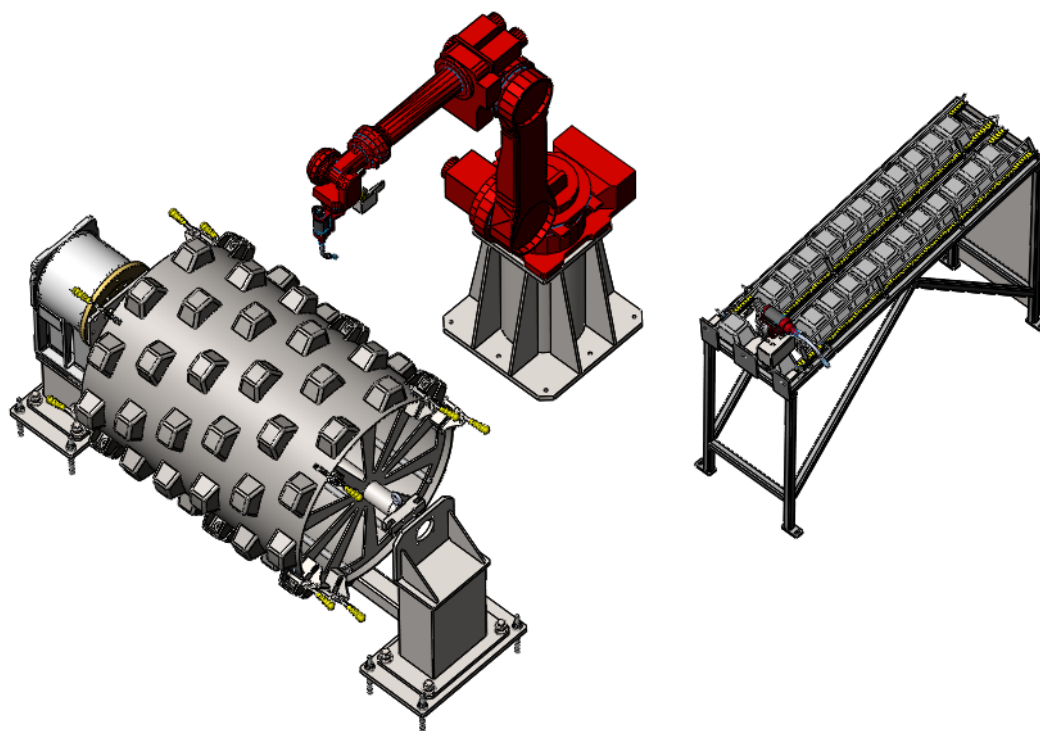
Z hlediska nákladů vychází nejlépe varianta A, zatímco z hlediska délky cyklu je nejvýhodnější varianta B. Srovnání těchto dvou parametrů u jednotlivých variant zachycuje graf 1. Na grafu je znázorněna doba, za kterou se vrátí investice do pracoviště. Jedná se pouze o teoretickou návratnost pro účely této práce. Skutečnou návratnost si určí zákazník dle reálných režíí. Ypsilonová osa grafu zobrazuje pořizovací náklady na pracoviště a X-ová osa čas. Byly vypočítány teoretické náklady za hodinu ručního svařování, kde je zahrnuta super hrubá mzda svářeče, spotřeba energie a spotřebního materiálu pro ruční svařování. Tyto náklady byly vynásobeny délkou ručního svařování. V současnosti je jeden válec svařen dvěma pracovníky za 4 hodiny. Dále byly stanoveny náklady na hodinu robotického svařování zahrnující spotřebu drátu, energií a opotřebení robotu a tato hodnota byla opět vynásobena časem potřebným pro svaření zubů. Tím byla určena finanční úspora na jeden válec. V obou případech byl také určen počet vyrobených válců za den. Následně byl vypočítán rozdíl hodnot a ten byl zanesen do grafu. Graf tedy nepočítá například s růstem mezd v rámci několika let, s dovolenou či nemocenskou dovolenou svářečů. Také nepočítá s nepřímými výdaji za pracovníka, které zahrnují energie za vytápění, pracovní pomůcky atd. Uvažován je dvousměnný provoz. V této fázi nejsou v kalkulaci zahrnuty náklady na celé pracoviště, ty budou uvedeny později. Smyslem tohoto grafu je posouzení variant, nikoli reálné posouzení návratnosti.



Graf 1 Teoretická návratnost variant

Z grafu je patrné, že z ekonomického pohledu je nejvýhodnější varianta A. Varianty B a C jsou z hlediska návratnosti obdobné.

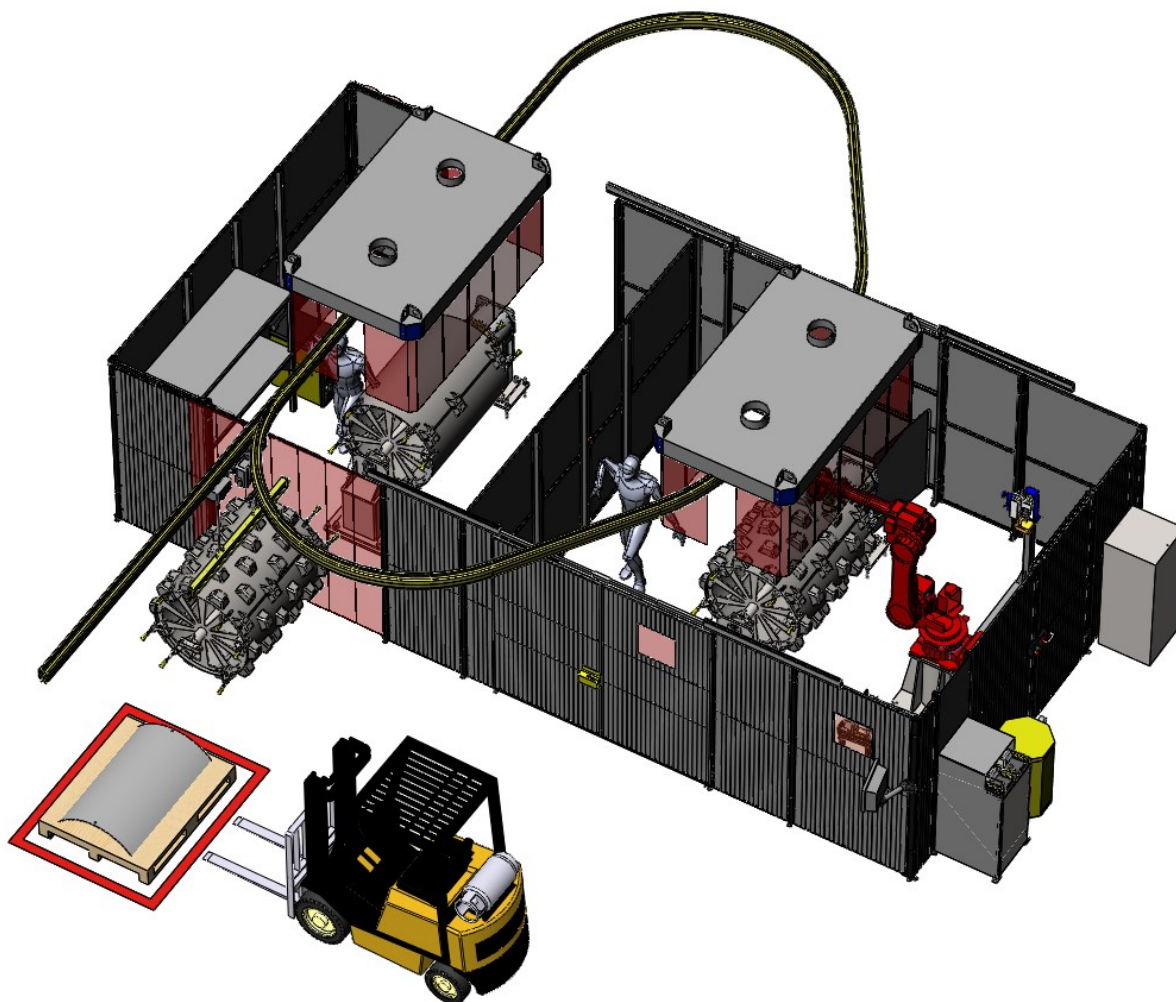
Ovšem také je nutné zohlednit schopnost varianty B automaticky svařovat žebra. Nicméně pokud by se k tomuto přistoupilo, byla by nutná modifikace dopravníku. Došlo by ke zvýšení nákladů a ke zvýšení komplexnosti tohoto systému. V neprospěch varianty B také hraje použití dvou robotů, tedy vyšší energetická náročnost. V případě varianty C hraje roli opotřebení systému automatické výměny. Při dané frekvenci výměny by se systém dostal na hranici výrobcem stanovené životnosti během tří let. Na základě diskuze, s přihlédnutím ke všem zmíněným aspektům byla zvolena varianta A, která tedy bude v následujících kapitolách podrobněji rozpracována.



*Obr. 7.27 Varianta A*

## 8 Zpracování zvolené varianty

Pracoviště se skládá ze dvou částí – automatické (robotizované části) a manuální. Části jsou mezi sebou a zbytkem haly odděleny oplocením Troax. Nad pracovištěm je umístěna podvěsná jeřábová dráha se dvěma jeřábovými kočkami.

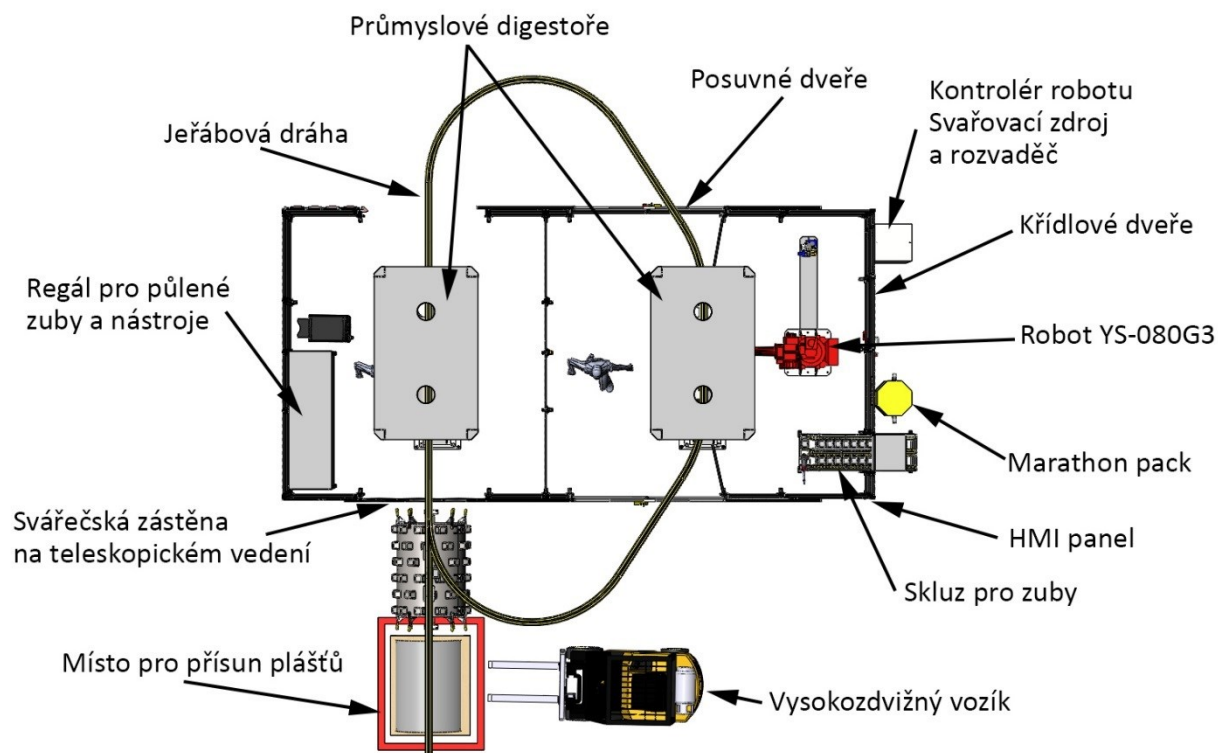


*Obr. 8.1 Svařovací pracoviště*

Pláště bēhounu jsou do pracoviště dopravovány vysokozdvizhným vozíkem. Poté jsou vyzvednuty jeřábem a upevněny do polohovadla v manuální části pracoviště. Zde jsou ručně přivařeny půlené zuby a poté jsou k sobě oba pláště přišroubovány. Tento postup musí být dodržen, aby nedošlo k ohnutí plechu vlivem tepla při robotickém svařování. Poté je svařenec i s přípravkem vyzvednut jeřábem a přenesen do robotické části svařovací buňky. Během robotického svařování dochází k přípravě dalšího svařence. Po dokončení svařování robotem je svařenec jeřábem přenesen do manuální části kde se navaří žebra, provede se výstupní kontrola a jednotlivé díly svařence se demontují z polohovadla. Poté se tyto díly přesunou jeřábovou dráhou na další pracoviště pro následnou povrchovou úpravu. Namísto jeřábových

ok na přípravku se tentokrát pro upevnění k háku využijí navařená žebra. Při přepravě hotového svařence zpět do manuální části je zároveň nový svařenec přepravován do robotické buňky.

Svářeč má zásobu půlených zubů a žebíř umístěnou na policích uvnitř buňky. Zatímco do robotické části pracoviště se zuby vkládají pomocí skluzu, jenž bude popsán dále. Poblíž skluzu je také umístěn panel operátora.



Obr. 8.2 Půdorys pracoviště

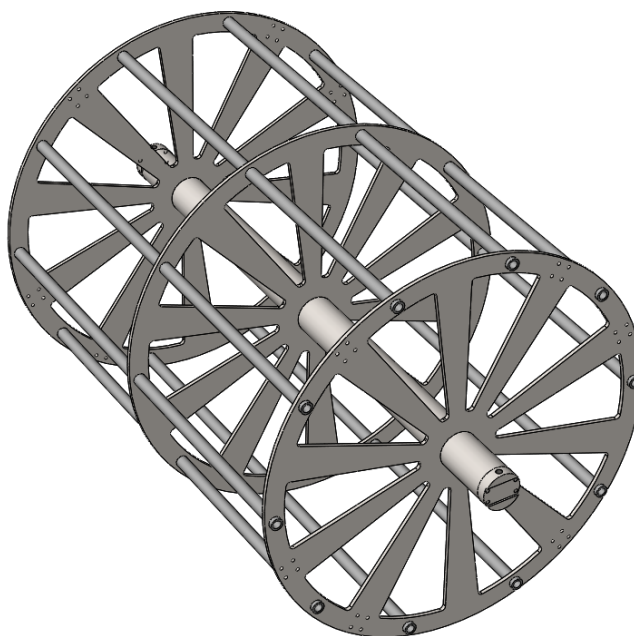
## 8.1 Popis jednotlivých uzlů pracoviště

V následující kapitole budou detailněji popsány některé periferie pracoviště a nastíněny kontrolní výpočty. Samotné výpočty a pevnostní analýzy jsou pak umístěny v přílohách.

### Přípravek

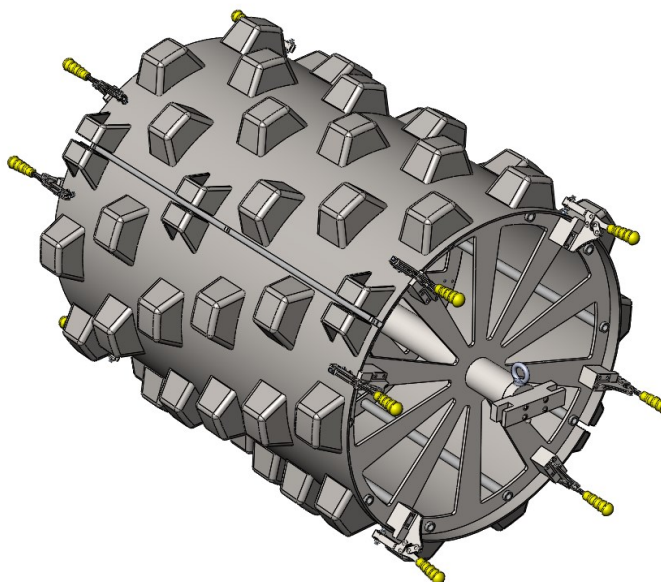
Přípravek je tvořen centrální trubkou s navařenými přírubami. V přírubách jsou našroubována jeřábová oka DIN 580. Trubka je osazena kruhovými výpalky, které tvoří dosedací plochu pro pláště běhounu. Výpalky jsou spolu spojeny deseti trubkami umístěnými po obvodu.





*Obr. 8.3 Svařovací přípravek*

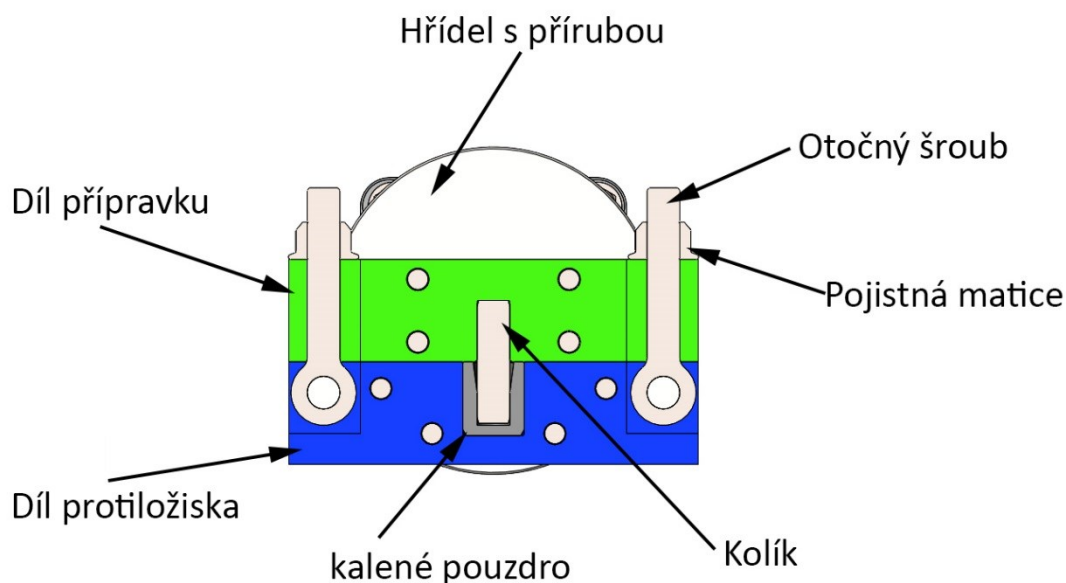
Přípravek je dále osazen ocelovými bloky, které slouží jednak jako dorazy a také jako příruby pro upínky. Byly zvoleny vodorovné ruční upínky 141 od firmy JC Metal. Každá upínka vyvine sílu až 3 000 N. Na ocelových blocích je také umístěna díra pro kolík, který vymezuje natočení plášťů. Vzhledem k možné deformaci díry v pláštích vlivem tepelné roztažnosti, je zde namísto klasického válcového kolíku použit frézovaný plochý kolík.



*Obr. 8.4 Osazený přípravek*

Posledním prvkem přípravku je ocelová deska, která je součástí upínacího mechanismu. Protikus, který je přišroubován k přírubě polohovadla, je osazen kaleným ocelovým pouzdrem

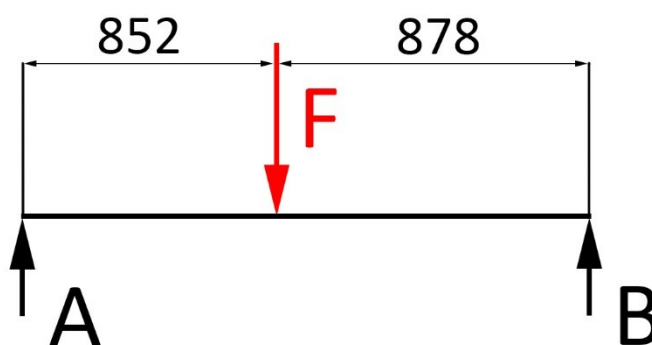
s kuželovou dírou. Protikus má nalisovaný kolík, který při ustavování přípravku zapadne do pouzdra a tím dojde k vymezení polohy. Poté je přípravek zajištěn dvěma šrouby s oky M20 DIN 444B LN.



Obr. 8.5 Řez upínacím mechanismem

### **Kontrola šroubového spoje**

Výpočet byl proveden pomocí softwaru MitCalc a následně ověřen v systému ANSYS. Nejdříve byla zjištěna poloha těžiště celé sestavy. Vzhledem k rozložení zubů není těžiště přesně uprostřed, nýbrž ve vzdálenosti 852 mm z celkové vzdálenosti 1730 mm, která dělí osy šroubů na obou stranách polohovadla. Proto byla nejdříve vypočtena síla na podpoře A, viz Obr. 8.6. Hmotnost přípravku s hotovým svařencem je 640 kg, zatěžující síla je tedy  $F = 6287 \text{ N}$



Obr. 8.6 Poloha těžiště



Síla v podpoře A byla určena MitCalcem.

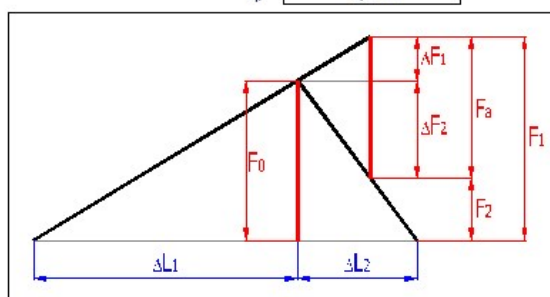
$$F_A = 3\,190\text{ N} \quad [7]$$

Síla na jeden šroub je pak:

$$F_{A1} = \frac{3\,248}{2} = 1\,595\text{ N} \quad [8]$$

Následně byla vypočtena potřebná síla v ose šroubu pro vyvinutí dostatečného montážního předpětí. Jako kritická je brána pozice, kde je přechod mezi jednotlivými díly uložení natočen vertikálně. Výpočet byl opět proveden v MitCalcu. Potřebná osová síla je rovna 12 181 N. To odpovídá utahovacímu momentu 45 N.m.

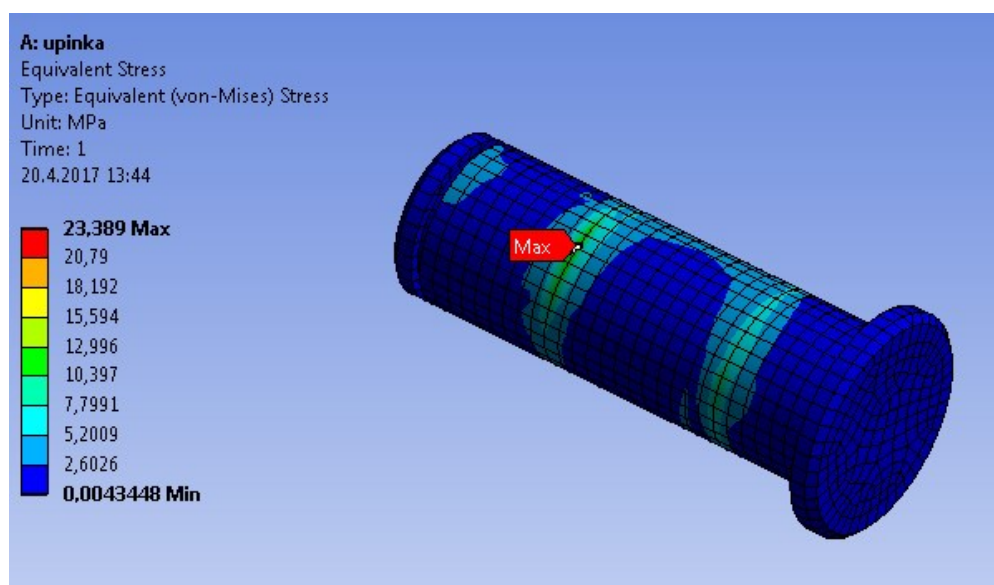
5.12 Montážní předpětí spoje	$F_0$	12181,0	<input checked="" type="checkbox"/> [N]
5.13 Utahovací moment	$M$	45,07	[Nm]
<b>5.14 Silové poměry zatíženého spoje</b>			
5.15 Změna předpětí ohřátím spoje na provozní teplotu	$\Delta F_{0T}$	0,00	[N]
5.16 Ztráta předpětí trvalou deformací (sednutím) spoje	$\Delta F_{0L}$	0,00	[N]
5.17 Provozní předpětí spoje	$F_0'$	12181,00	[N]
5.18 Zbytkové předpětí sevřených částí spoje	$F_2$	12181,00	[N]
5.19 Výsledná vnitřní osová síla ve šroubu	$F_1$	12181,00	[N]
5.20 Součinitel těsnosti (předpětí) spoje	$q_a$	0,000	
5.21 Bezpečnost proti bočnímu posunutí	$q_r$	1,500	



Obr. 8.7 Výsledek výpočtu montážního předpětí

Šroub M20 byl navržen z důvodu velkého namáhání čepu, jenž u menšího šroubu, a tím pádem menšího čepu, nevyhovoval. Bezpečnostní koeficient samotného šroubu dosahuje hodnoty 9,85 při použité třídě materiálu 8.8, zatímco koeficient u čepu je roven 1,2. Zde byl použit materiál 13 141.6 s mezí pevnosti 700 MPa.

Uvedený analytický výpočet čepu dle norem počítá s ohybem na celé délce čepu mezi podporami, jež jsou definovány jako středy kontaktních ploch vidlice. Ve skutečnosti je ohybu zabráněno táhlem. Prostor pro ohyb vzniká pouze v mezerách mezi táhlem a vidlicí jež činní 0,5 mm na každé straně. Proto byl akceptován relativně nízký koeficient bezpečnosti. Pro ověření této úvahy byl proveden výpočet pomocí MKP. Výsledek analýzy je vyobrazen na Obr. 8.8 Pevnostní analýza čepu v systému ANSYS

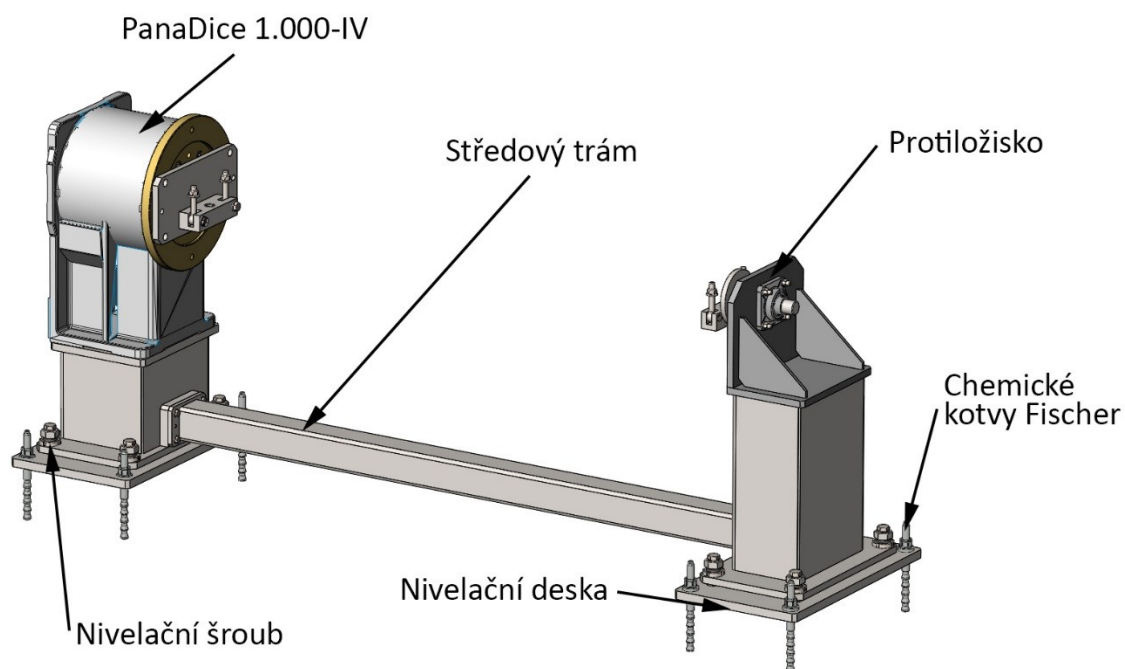


*Obr. 8.8 Pevnostní analýza čepu v systému ANSYS*

Výsledek analýzy potvrdil původní předpoklad. Nejvyšší napětí v čepu je 23,4 MPa oproti analyticky vypočítaným 152 MPa. Analytický výpočet čepu a šroubu, stejně jako MKP výpočet, je přiložen v příloze.

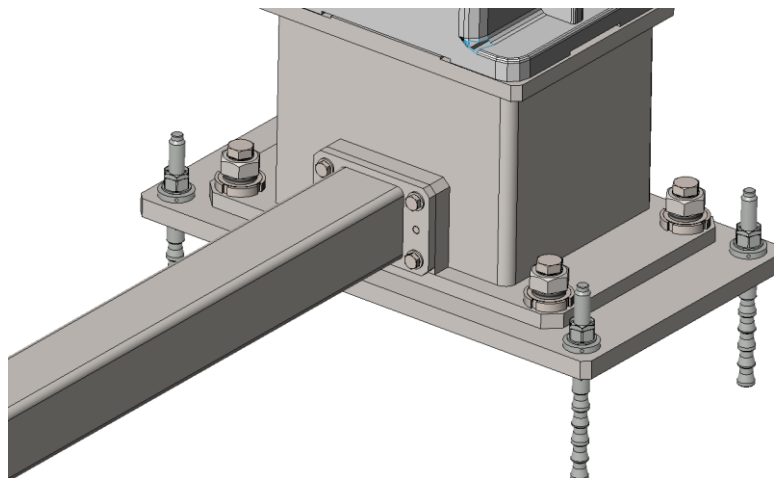
### **Polohovadlo**

Pracoviště je vybaveno dvěma shodnými polohovadly. Tato polohovadla jsou tvořena dvěma podstavci, středovým trámem, rotační jednotkou a protiložiskem.



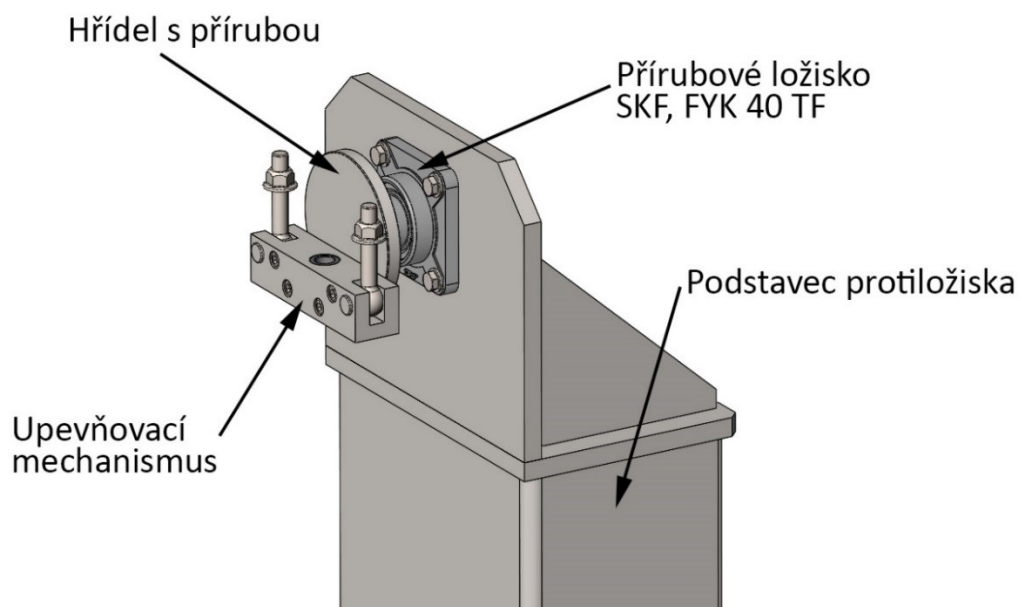
*Obr. 8.9 Polohovadlo*

Podstavce stojí na nivelační desce, která je k zemi přichycena chemickými kotvami Fischer. Středový trám je zakolíkován a přišroubován k podstavcům a usnadňuje tak jejich vzájemné ustavení.



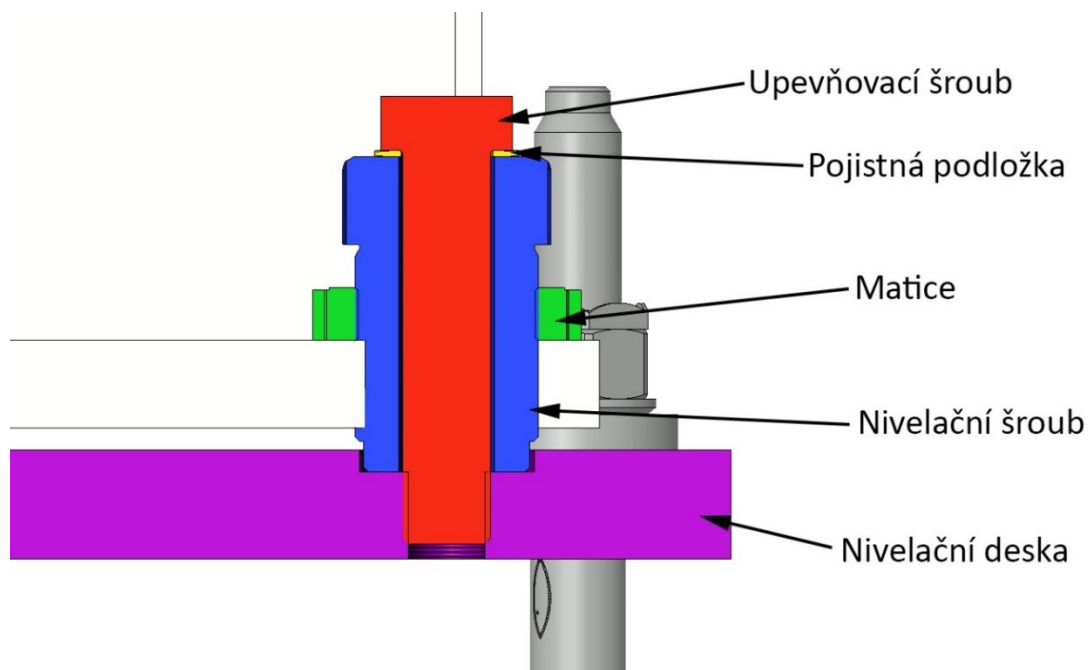
*Obr. 8.10 Spojení podstavců polohovadla*

Valk Welding nemá v nabídce standardní protiložiska, proto byla navržena vlastní konstrukce. Ta se skládá ze svařovaného rámu, ke kterému jsou připojeny dvě přírubová ložiska FYK 40 TF firmy SKF, která jsou držena v souososti středícím kroužkem. Uložení hřídele dovoluje axiální posuv, jednak pro usnadnění montáže přípravku a také pro kompenzaci případného posunutí vlivem tepelné roztažnosti.



*Obr. 8.11 Protiložisko polohovadla*

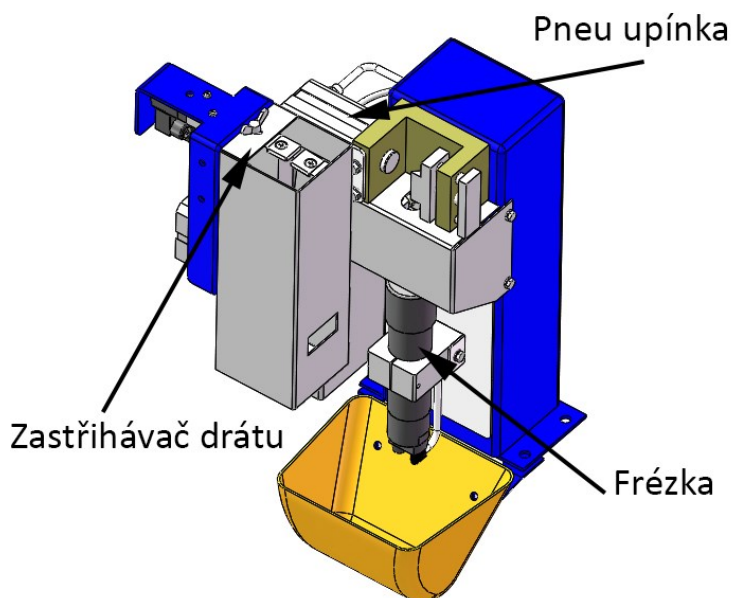
Nivelace podstavců je realizována dutým nivelačním šroubem a kontra maticí DIN 1804. Šroub se opírá o přikotvenou nivelační desku a jeho středem je veden upevňovací šroub s pojistnou podložkou.



Obr. 8.12 Řez nivelačním mechanismem

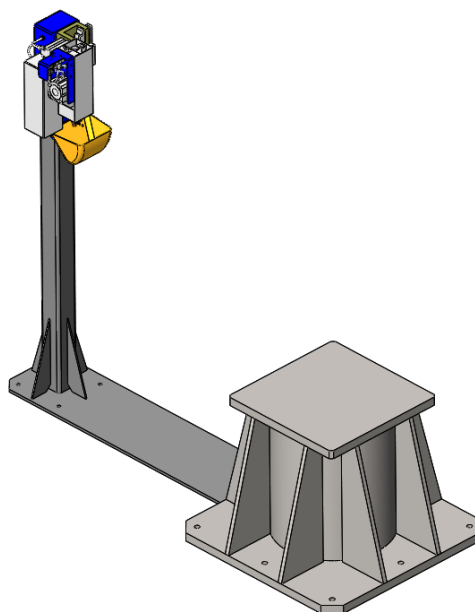
### Čistící stanice

Pro čištění hořáku byla zvolena stanice firmy J. Thielmann. Čistička je vybavena pneumatickým zastříhovačem drátu a frézou s pneumatickou upínkou.



Obr. 8.13 Čistící stanice J. Thielmann

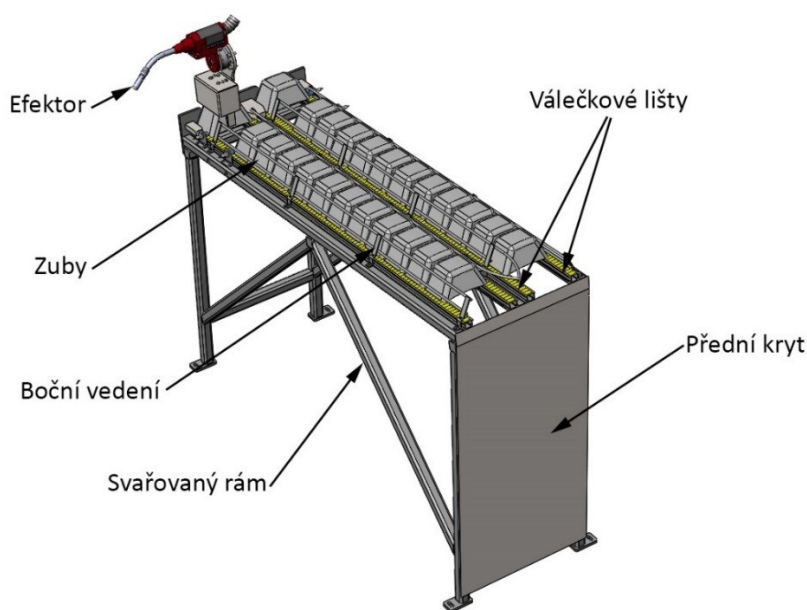
Čistička je umístěna na stojanu a desce, která je ukotvena do země. Po ukotvení desky i podstavce robotu jsou oba kusy svařeny k sobě. Tím je zabezpečena jejich vzájemná poloha.



*Obr. 8.14 Ustavení čisticí stanice*

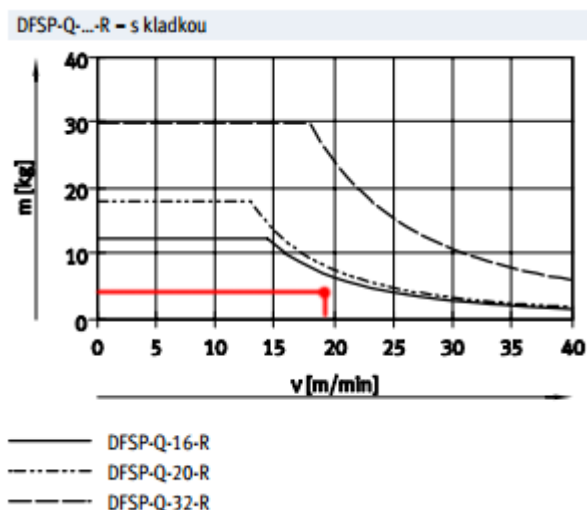
### **Gravitační skluz**

Pro vstup zubů do pracoviště byl vybrán gravitační skluz. Vzhledem k drsnosti a nerovnosti povrchu zubů, byl namísto hladkého skluzu zvolen skluz s válečky. Konkrétně byly použity válečkové lišty RU-33-N-Mini společnosti Ložiska Drašar s.r.o. Skluz je zdvojený, aby mohla vzniknout větší zásoba odlitků a obsluha tak nemusela doplňovat zuby příliš často. Lišty jsou přišroubovány ke svařovanému rámu a lemovány vedením.



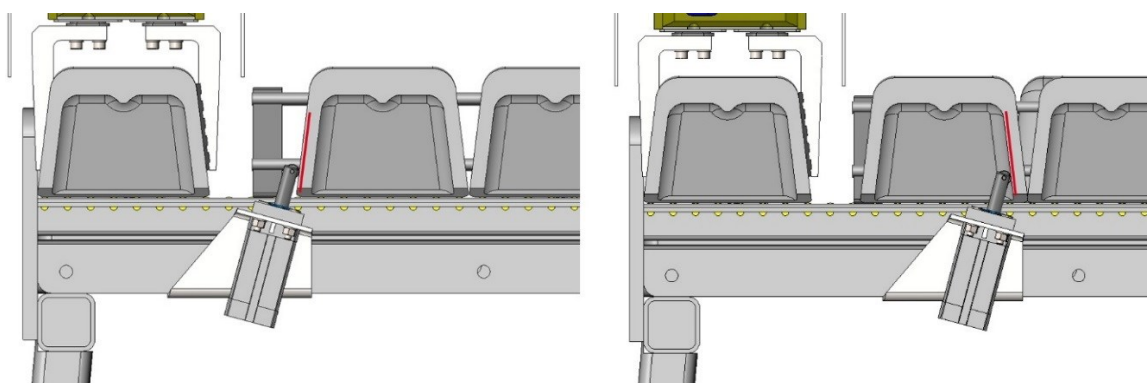
*Obr. 8.15 Gravitační válečkový dopravník*

Zuby byly orientovány tak, aby se jich na skluz vlezlo co nejvíce. Tím ovšem došlo k zakrytí úchytných ploch. Z tohoto důvodu byly přidány pneumatické zarážky firmy Festo DFSP-Q-20-20-R-PA. Jedná se o variantu s průměrem pístnice 20 mm a zdvihem taktě 20 mm. Konec pístnice je vybaven rolnou, která slouží k eliminaci smykového tření při zajištění pístnice. Válec je dvoučinný s pružinou, která píst vysouvá. Průměr pístnice byl vybrán s ohledem na energii nárazu, kterou je schopen vyvinout zub při rozjezdu přes celý skluz.



Obr. 8.16

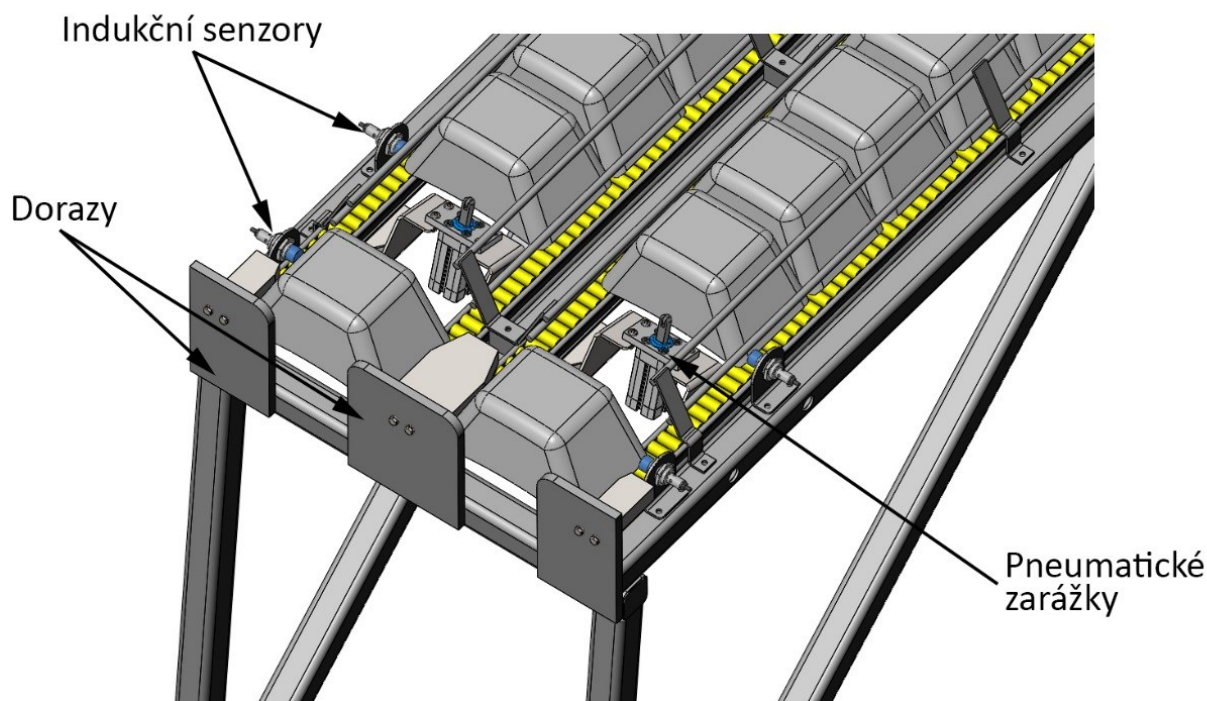
Ve výchozí pozici je zarážka vysunutá. To znamená, že první zub, který je zarážkou zachycen je zablokován za vnější stěnu tak jak je zobrazeno na Obr. 8.17 Zachycení zubů vlevo. Tato stěna je po úhlem, proto je i samotná zarážka umístěna pod úhlem, aby při zasouvání pístnice s rolnou nedocházelo k přetlačování zubů směrem vzhůru. Následující zuby jsou již zachycovány za vnitřní stěnu.



Obr. 8.17 Zachycení zubů



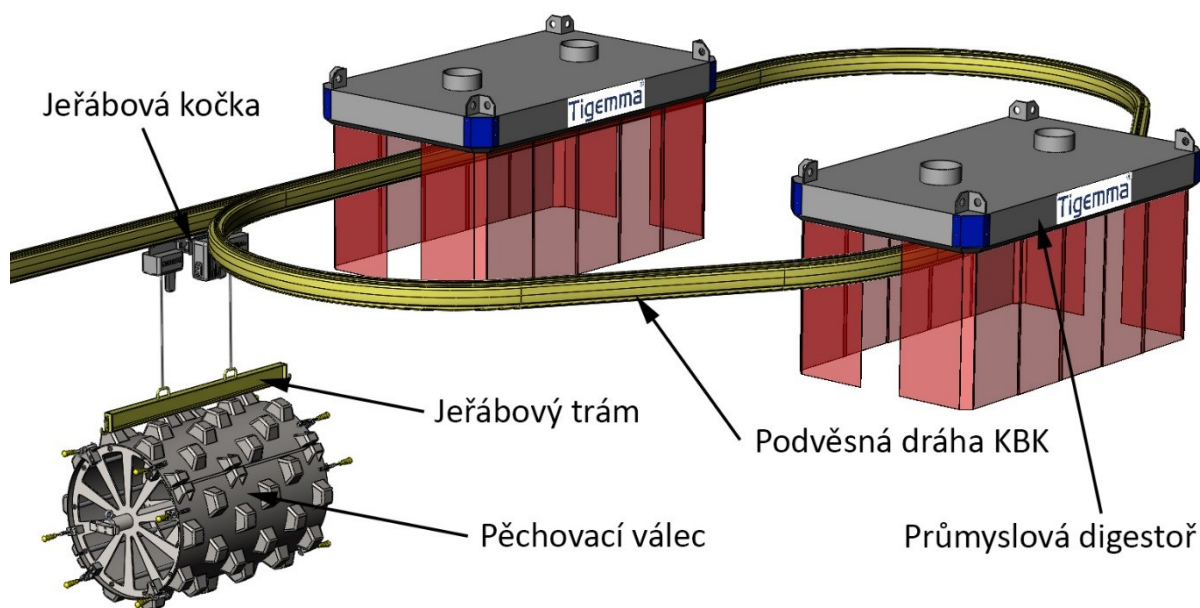
Zuby jsou detekovány indukčními snímači IME18-12NPSZC0S firmy Sick, a to v místě odběru, dále je detekován zub zachycený zarážkou. Informace o přítomnosti zubu jsou zobrazeny na panelu nad dopravníkem a také na panelu operátora. Díky tomu má obsluha přehled o stavu zásob.



*Obr. 8.18 Místo odběru zubů*

Svařence jsou po pracovišti přesouvány pomocí jeřábové dráhy. Ta je vedena i pod průmyslovou digestoř společnosti Tigemma. Pro zvýšení efektivity odsávání jsou na digestoři zavěšené svařečské plenty, ty jsou zkráceny v místě jeřábové dráhy.

Jeřábová dráha byla sestavena z dílů firmy Demag, jež poskytuje kompletní řešení jeřábových systémů včetně jedno-nosíkových podvěsných drah. Zvolený systém je označován jako KBK stavebnice. Jedná se o plně konfigurovatelné jeřábové dráhy vhodné pro lineární přepravu v rámci výrobní haly. Z důvodu lepší stability objektu manipulace byla zvolena hnaná pojezdová kočka se dvěma lany. Tímto řešením je minimalizováno riziko zranění obsluhy z důvodu nekontrolovatelného rozpohybování OM.



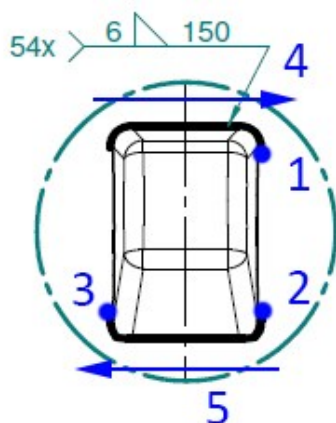
Obr. 8.19 Podvěsná jeřábová dráha

Tvar dráhy byl navržen v souladu s požadavky popsány v manuálu výrobce. Jedná se o požadavky na rozměr profilů, minimální poloměry zatáček a úhly zatočení.

## 8.2 Simulace

V prostředí DTPS byla vytvořena simulace, v níž byly jednak ověřeny dosahy a také byla zjištěna doba operace. Po provedení simulace byla upravena výška podstavce a vzdálenost čistící stanice od robotu, tím byl zajištěn dosah robotu ke všem místům svařování.

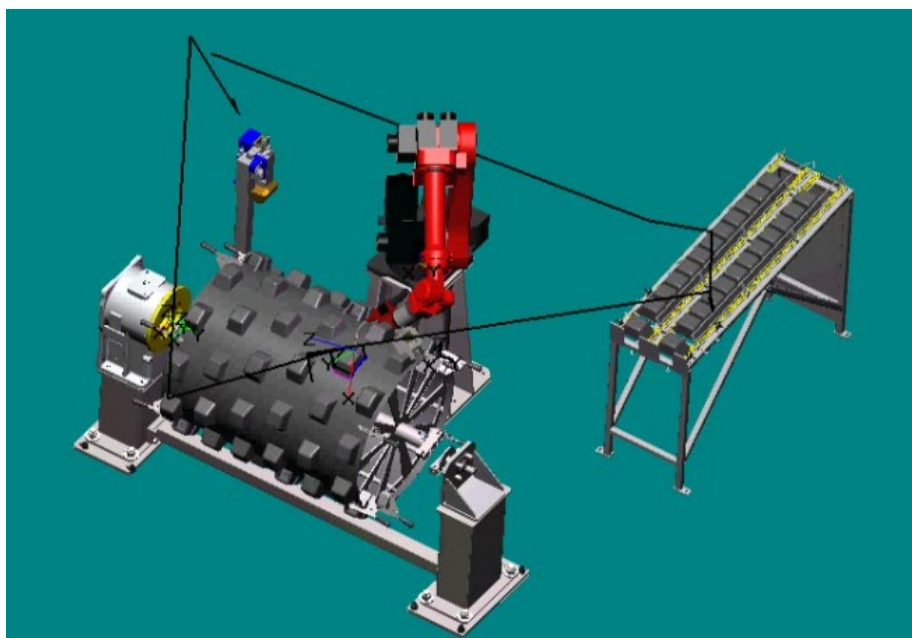
Následující obrázek zachycuje posloupnost operací při svařování zubu. Nejdříve se zuby nastehují v bodech 1, 2 a 3. Tím dojde k zajištění polohy zubu a zamezení nadzvednutí zubu vlivem tepelné deformace. Následně dojde k obvaření, nejprve ve směru šipky označené číslem 4 a poté 5.



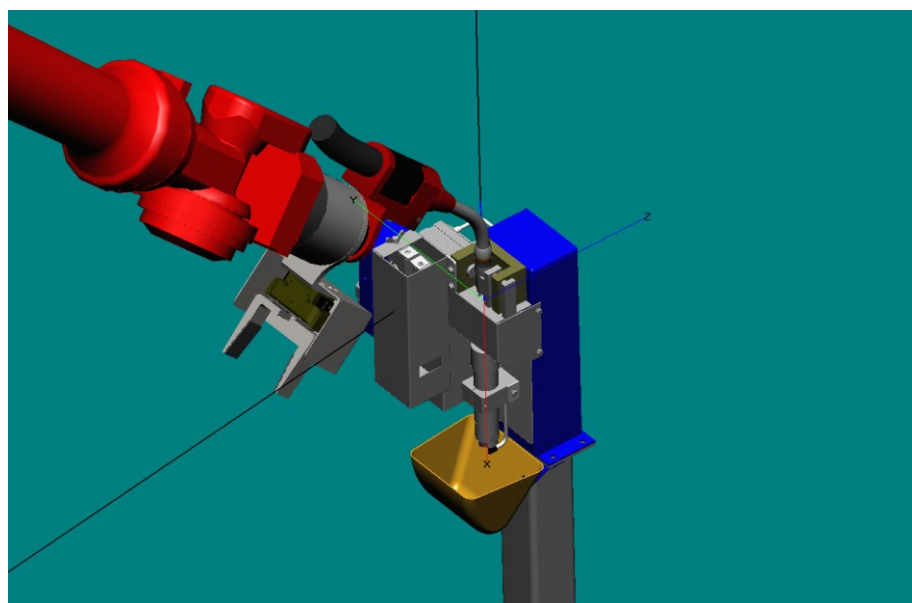
Obr. 8.20 Schéma svařování



Jak již bylo zmíněno v úvodu práce, jedná se o 6 mm svar, který je zhotoven na jeden přejezd. To vyžaduje natočení polohovadla tak, aby byla svarová housenka tvořena tzv. do korýtky. V místě svaru totiž vzniká značný objem roztaveného materiálu, který by mohl stékat, a tím by vznikla nevzhledná svarová housenka nesplňující požadavky na průřez svaru.



*Obr. 8.21 Simulace pracoviště*

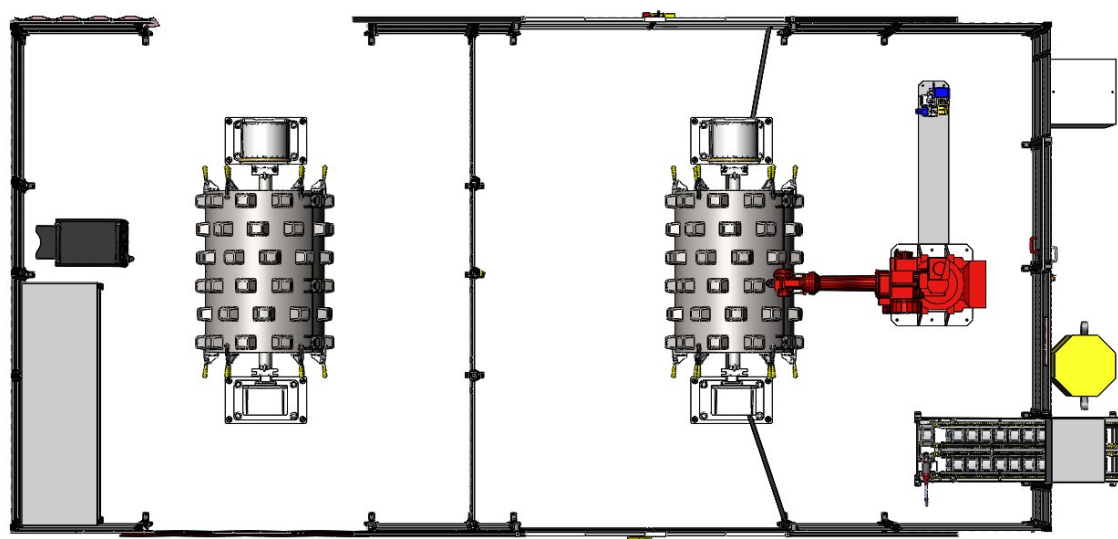


*Obr. 8.22 Čištění hořáku*

### 8.3 Bezpečnost

Pracoviště bylo navrženo v souladu s příslušnými normami. Prostor robotu je obehán plechovými ploty Troax. Mezery mezi sloupky a panely jsou zakryty krycími plechy. Plexi okna s UV filtrem jsou umístěna mimo dosah robotu. Výška plotu je pouze 2 200 mm, avšak

jsou dodrženy minimální vzdálenosti pracovní obálky od dosahu člověka dle normy ČSN EN ISO 13857. Rozsah první osy robotu je omezen na 195°, a tím je robotu zabráněno zasáhnout mimo vymezený perimetr. Skluz je vybaven krytováním a tunelem o délce 550 mm.



*Obr. 8.23 Půdorys pracoviště*

Nakládací zóna je od robotu oddělena plechy výšce 1100 mm. Automatická část pracoviště je rozdělena na dvě zóny – základací část a robotickou část. Do základací části vstupuje obsluha za účelem upevnění, nebo uvolnění přípravku. Vstup do zóny je umožněn ze dvou stran. Na stěně mezi dveřmi je umístěno pre-reset tlačítko, po jehož stisknutí má obsluha deset sekund na opuštění pracoviště, zavření dveří a stisknutí potvrzovacího tlačítka. Deset sekund poskytuje obsluze dostatečně dlouhou dobu na zkontrolování, zda se v základací zóně nevyskytuje další osoba a na uzavření dveří. Dveře jsou také vybaveny oknem s UV filtrem, čímž je eliminováno nebezpečí spuštění pracoviště do automatického režimu s osobou uvnitř. Základací zóna je dle norem vybavena tlačítkem nouzového zastavení a dveře je možné otevřít zevnitř.

Vstup do zóny robotu je zprostředkován jednoduchými křídlovými dveřmi s bezpečnostním zámkem. Obsluha je při vstupu do této zóny povinna zamknout zámek při otevřených dveřích, aby nemohlo dojít k uzavření a spuštění pracoviště jinou osobou. Zóna je opět vybavena tlačítkem pro nouzové zastavení a dveře taktéž umožňují otevření zevnitř.

Manuální část pracoviště je také oplocena a vstupy jsou kryty svářečskými zástěnami. Mezery v oplocení jsou zakrytovány, aby byl zbytek haly odstíněn od UV záření ze svařování. Pracoviště je stejně jako robotizovaná část, vybaveno digestoří na odsávání zplodin.

## 8.4 Zdroje energií

K pracovišti je nutné přivádět dva zdroje energie, a to elektrickou a pneumatickou. Pracoviště vyžaduje připojení k 3x400V AC a ke zdroji stlačeného vzduchu s provozním tlakem 0,6 MPa. Energetická náročnost jednotlivých zařízení je rozepsána v následujících tabulkách.

*Tabulka 13 Energetická náročnost v max. zátěži*

Elektrická energie	
Robot	5 000 W
Polohovadlo 1	1 000 W
Polohovadlo 2	1 000 W
Čistící stanice	10 W
Svařovací zdroj	18 900 W
Ruční svařovací zdroj	13 100 W
Jeřábová dráha	4 000 W
Osvětlení	80 W
Senzory a bezpečnostní prvky	50 W

*Tabulka 14 Připojení pneumatické energie*

Pneumatická energie	
Ofuk hořáku	6 bar
Pneu spojka hořáku	3 bar
Schunk chapadlo	6 bar
Schunk vnitřní ofuk	1 bar
Válečkový skluz	6 bar
Ruční ofuk	6 bar
Pneumatická zarážka	6 bar

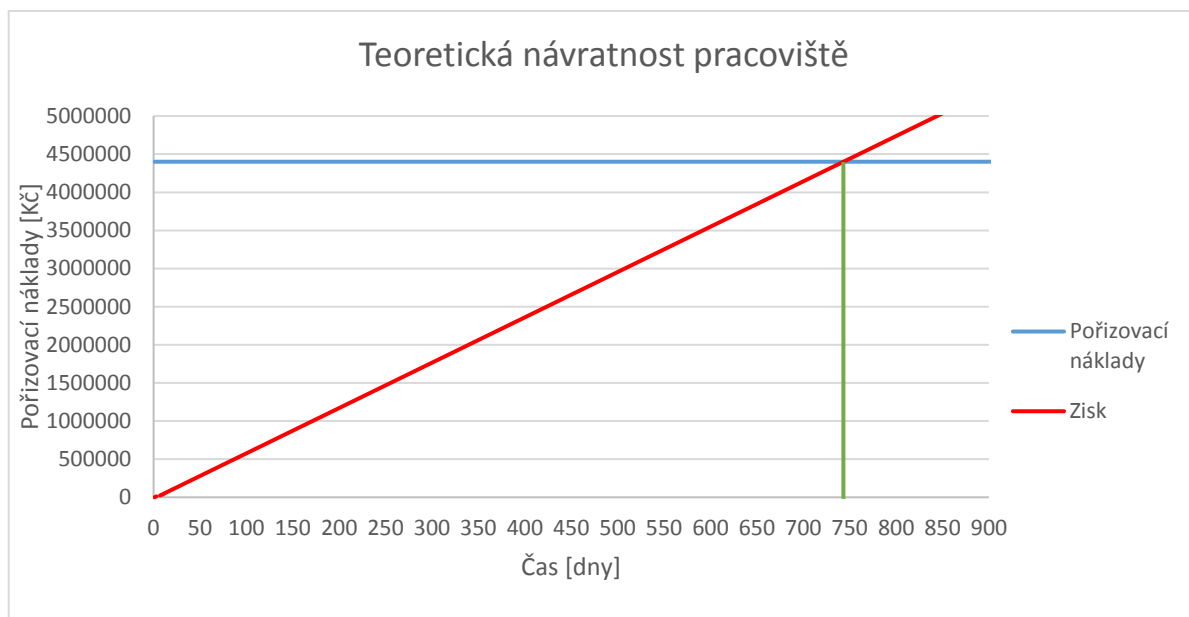
## 8.5 Finanční zhodnocení

Náklady na výrobu pracoviště byly z větší části zpracovány ve spolupráci s firmou Valk Welding. Cena za výrobu efektoru byla poptána přímo ve výrobní firmě. Náklady na zbylé vyráběné díly a celky byly určeny odhadem a pomocí tabulkových cen za materiál a technologii. Jedná se o polohovadlo, přípravek, podstavec robotu, regál v manuální části pracoviště a další plechové díly apod. Náklady byly zaneseny do tabulky 15.

Tabulka 15 Cenová kalkulace pracoviště

Cenová kalkulace pracoviště				
Položka	Rozpad	Cena/ks	ks	Celkem
Efektor	Svařovací hořák Tawers WGH 500A	40 000,00 Kč	1	40 000,00 Kč
	Chapadlo Schunk PGN+80-2SD	20 153,00 Kč	1	20 153,00 Kč
	Senzory Schunk MMA-P 22-S-M8-PNP	2 211,00 Kč	1	2 211,00 Kč
	Rám efektoru	2 530,00 Kč	1	2 530,00 Kč
	Prst efektoru	800,00 Kč	2	1 600,00 Kč
	Kryt	550,00 Kč	1	550,00 Kč
Robot	Robot YS-080G3	1 700 000,00 Kč	1	1 700 000,00 Kč
	Svářecí vybavení	360 000,00 Kč	1	360 000,00 Kč
	Podstavec robotu	15 010,00 Kč	1	15 010,00 Kč
Polohovadlo	Rotor	550 000,00 Kč	2	1 100 000,00 Kč
	Podstavec rotoru	5 861,00 Kč	2	11 722,00 Kč
	Podstavec protiložiska	6 288,00 Kč	2	12 576,00 Kč
	Ložiska	1 241,00 Kč	4	4 964,00 Kč
	Spojovací trám	1 339,00 Kč	2	2 678,00 Kč
Čistící stanice	J. Thielmann	46 000,00 Kč	1	46 000,00 Kč
	Sloupek	647,00 Kč	1	647,00 Kč
Rozvaděč	Elektrické rozvody	20 000,00 Kč	1	20 000,00 Kč
	Logické obvody	5 000,00 Kč	1	5 000,00 Kč
	Safety karta PILZ	10 000,00 Kč	1	10 000,00 Kč
Odsávání	Digestoř tigemma	35 088,00 Kč	2	70 176,00 Kč
Oplocení	Panel UR SP 1200	2 999,00 Kč	7	20 993,00 Kč
	Panel UR SP 1000	2 299,00 Kč	3	6 897,00 Kč
	Panel UR SP 800	1 899,00 Kč	5	9 495,00 Kč
	Panel UR SP 700	1 699,00 Kč	3	5 097,00 Kč
	Panel UR SP 300	999,00 Kč	3	2 997,00 Kč
	Panel UR SP 200	799,00 Kč	1	799,00 Kč
	Sloupek	824,00 Kč	25	20 600,00 Kč
	Kryt mezery	400,00 Kč	14	5 600,00 Kč
	Posuvné dveře	10 000,00 Kč	2	20 000,00 Kč
	Křídlové dveře	3 000,00 Kč	1	3 000,00 Kč
	Teleskopické vedení	2 450,00 Kč	2	4 900,00 Kč
	Svářečské plenty 2200x1300	1 270,00 Kč	4	5 080,00 Kč
	Plechové panely a krytování	500,00 Kč	5	2 500,00 Kč
Skluz	Svařovaný rám	3 888,00 Kč	1	3 888,00 Kč
	Kladičkové lišty RU-33-N-Mini	422,29 Kč	4	1 689,16 Kč
	Pneumatická zarážka	1 458,00 Kč	2	2 916,00 Kč
	Indukční snímač IME18-12NPSZCOS	320,00 Kč	4	1 280,00 Kč
	Zbylé mechanické prvky	500,00 Kč	1	500,00 Kč
Pneumatické rozvody	Úprava stlačeného vzduchu	5 170,00 Kč	1	5 170,00 Kč
	Rozvody - hadice, spojky atd.	2 500,00 Kč	1	2 500,00 Kč
Jeřábová dráha	Jeřábová dráha DEMAG	400 000,00 Kč	1	400 000,00 Kč
Regál	Svařovaná konstrukce	4 543,00 Kč	1	4 543,00 Kč
	Plech	1 200,00 Kč	1	1 200,00 Kč
Přípravek	Svařovaný rám	14 425,00 Kč	2	28 850,00 Kč
	Rychlo upínky JC metal 141	375,00 Kč	24	9 000,00 Kč
	Obráběné díly	5 310,00 Kč	1	5 310,00 Kč
	Engineering	400 000 Kč	1	400 000,00 Kč
		<b>Celková cena: 4 400 621,16 Kč</b>		

Obdobně jako při návrhu variant je na Graf 2 Graf návratnosti pracoviště znázorněna návratnost pracoviště. V tomto případě jsou již zahrnuty veškeré náklady. Způsob výpočtu je stejný jako v předchozím případě, graf tedy neposkytuje zcela reálné údaje.



*Graf 2 Graf návratnosti pracoviště*

Z grafu vyplývá že k návratu investice při plném vytížení pracoviště dojde zhruba během dvou let.

## 9 Závěr

V diplomové práci byly po analýze zadání navrženy tři možné varianty řešení. V rámci jedné z variant byl vytvořen návrh kombinovaného efektoru s chapadlem Schunk PGN+80-2-SD a svařovacím MIG hořákem Tawers WGH. Efektor byl navržen tak, aby dovoľoval svaření zubů bez omezení a zároveň aby se náklady na výrobu tohoto efektoru držely co nejnižší. Z tohoto důvodu se upustilo od možnosti svařovat žebra. Po vytvoření tří variant pracoviště, z nichž jedna využívala samostatný robot s právě zmíněným kombinovaným efektozem, druhá dva roboty a třetí opět samostatný robot ovšem se systémem automatické výměny nástroje, byly varianty vzájemně porovnány. Řešení byla srovnávána na základě délky cyklu a pořizovacích nákladů. Dále byly uvažovány funkce, jež se dají považovat za přidanou hodnotu pracoviště, jako například schopnost svařovat zuby, popřípadě jednoduchost řízení a energetická náročnost. Poté byla na základě konzultace ve firmě Valk Welding vybrána nejlepší varianta a ta byla dále rozpracována.

Při návrhu výsledného řešení byly brány v potaz jak požadavky zákazníka, tak požadavky dané příslušnými normami. Vytvořené pracoviště se skládá ze dvou částí a to manuální, kde probíhá příprava svařence a také výstupní kontrola, a dále z automatizované části, kde dochází k samotnému automatickému svařování robotem YS-080G3. Přeprava svařence je realizována pomocí podvěsné jeřábové dráhy firmy Demag. Při řešení pracoviště byly podrobněji navrženy a popsány některé periferie, například gravitační dopravník zubů, polohovadlo či přípravek. Vybrané konstrukční prvky byly analyzovány i z hlediska pevnosti, a to za využití buďto integrovaného simulačního prostředí v systému Solidworks, anebo výpočtářského nástroje Ansys. Vstup zubů do pracoviště, stejně jako vzdálenosti člověku dostupných prostor od pracovní obálky robotu byl navržen v souladu s normou ČSN EN ISO 13857. Návrh efektoru a polohovadla byl doložen výkresovou dokumentací. Pro layout celkového pracoviště byl také vytvořen výkres.

V závěrečné části práce byla vytvořena cenová kalkulace pracoviště. Ceny robotů a svařovacího vybavení byly stanoveny ve firmě Valk Welding. Ceny většiny nakupovaných dílů byly poptány a náklady na vyráběné díly byly odhadnuty. Celkové náklady na pracoviště byly stanoveny na 4 400 621 Kč. Na základě této kalkulace a času cyklu byla provedena analýza návratnosti. Z této analýzy vyplývá, že návratnost pracoviště je 2 roky. Tato hodnota je však pouze orientační. Výpočet reálné návratnosti si zákazník musí určit sám na základě vlastních režíí.

## 10 Použité zdroje

- [1] LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 4., dopl. vyd. Úvaly: Albra, 2008. ISBN 9788073610517.
- [2] NAVRÁTIL, Zdeněk. *Gravitační válečková trať pro dopravu kusového materiálu*. Brno, 2008. Bakalářská práce. VUT Brno. Vedoucí práce Ing. Jaroslav Kašpárek.
- [3] KONEČNÝ, Zdeněk. *Základy technické dokumentace*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2004, 83 s. ISBN 80-248-0514-6.
- [4] ČSN EN ISO 13920. Svařování - Základní tolerance pro svařované konstrukce: Velikosti délek a úhlů - Tvar a poloha. 1. Brusel, 1996.
- [5] ČSN EN ISO 13850. Bezpečnost strojních zařízení: Nouzové zastavení - Zásady pro konstrukci. 1. Brusel, 2008.
- [6] ČSN EN ISO 13857. Bezpečnost strojních zařízení: Bezpečné vzdálenosti k zamezení dosahu k nebezpečným místům horními a dolními končetinami. 1. Brusel, 2008.
- [7] ČSN EN ISO 14119. Bezpečnost strojních zařízení: Blokovací zařízení spojená s ochrannými kryty - Zásady pro konstrukci a volbu. 1. Brusel, 2014.
- [8] ČSN EN ISO 10218-2. Roboty a robotická zařízení: bezpečnost PR. 1. Brusel, 2011.
- [9] ČSN EN ISO 8062-3. Geometrické specifikace produktů: Rozměrové a geometrické tolerance tvarovaných součástí. 1. Brusel, 2008.
- [10] ABB. *Příručka bezpečnosti: Bezpečnost strojů – Jokab Safety* [online]. In: . Brno, 2013, s. 408 [cit. 2017-04-09]. Dostupné z:  
<https://library.e.abb.com/public/efb3781390c4499686c1e5f1244db08f/ABB%20PrirucPr%20bezpecnosti%20-%20Katalog%20JokabSafety.pdf>

- [11] *Robot welding: The essential guide* [online]. Henk Leerink [cit. 2017-04-20]. Dostupné z: <http://www.robotwelding.co.uk/>
- [12] ŠVERCL, Josef. *Technické kreslení a deskriptivní geometrie pro školu a praxi*. Praha: Scientia, pedagogické nakladatelství, 2003. ISBN 80-7183-297-9.
- [13] *Valk Welding* [online]. Alblasserdam: Valk Welding, 2017 [cit. 2017-05-09]. Dostupné z: <https://www.valkwelding.com/cz>
- [14] *Panasonic industrial: Robot welding system solution* [online]. Langen: Panasonic Automotive & Industrial Systems Europe, 2017 [cit. 2017-05-09]. Dostupné z: <https://eu.industrial.panasonic.com/products/robot-welding-system-solutions>
- [15] *Demag cranes* [online]. Wetter: Demag, 2017 [cit. 2017-05-09]. Dostupné z: <http://www.demagcranes.com/Demag-international>
- [16] *Fronius* [online]. Pettenbach: Fronius International, 2017 [cit. 2017-05-09]. Dostupné z: [http://www.fronius.com/cps/rde/xchg/fronius\\_ceska\\_republika](http://www.fronius.com/cps/rde/xchg/fronius_ceska_republika)
- [17] *Sick: Sensor Intelligence* [online]. Düsseldorf: Sick, 2017 [cit. 2017-05-09]. Dostupné z: <https://www.sick.com/cz/cs/>
- [18] *Schunk* [online]. Lauffen am Neckar: Schunk GmbH & Co, 2017 [cit. 2017-05-09]. Dostupné z: [https://cz.schunk.com/cz\\_en/homepage/](https://cz.schunk.com/cz_en/homepage/)
- [19] *Euchner* [online]. Leinfelden-Echterdingen: EUCHNER GmbH + Co., 2017 [cit. 2017-05-09]. Dostupné z: <http://www.euchner.cz/>



# 11 Seznam příloh

## Tištěné přílohy

Příloha A: Výkres svařence

Příloha B: Výkresová dokumentace pracoviště

- Seznam výkresové dokumentace
- S0A001 Layout
- S1A001 Efektor
- S1P001 Rám
- S1P001v2 Rám
- S1P002 Prst
- S1P003 Pryž
- S1P004 Kryt
- S2A001 Rám polohovadla
- S2A002 Podstavec
- S2A003 Podstavec 2
- S2A004 Rám protiložiska
- S2P001 Horní deska
- S2P002 Plech
- S2P003 Patka
- S2P004 Nosník
- S2P005 Deska podstavce
- S2P006 Nivelační deska
- S2P007 Nivelační šroub
- S2P008 Plech

### **Přílohy pouze na CD**

Příloha C:	Manuál paralelní pneu efektor Schunk
Příloha D:	Manuál zarážkové válce DFSP
Příloha E:	Datasheet ložiskového domku Y-bearing square flanged units-FYK 40 TF
Příloha F:	Datasheet polohovadla Panasonic
Příloha G:	Datasheet robotu YS-080G3
Příloha H:	Výpočet nosníku
Příloha I:	Výpočet šroubu
Příloha J:	Výpočet kolíku
Příloha K:	Video ze simulace varianty A
Příloha L:	Video ze simulace varianty B
Příloha M:	Video ze simulace varianty C